UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA

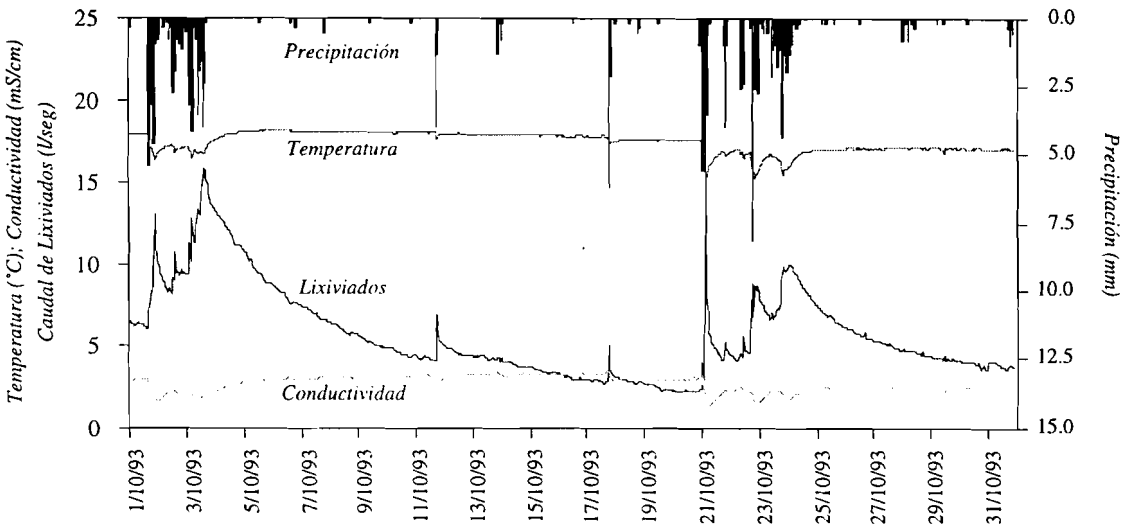
eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA/GEODINAMIKA SAILA

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE VERTEDEROS CONTROLADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: VERTEDEROS DE GIPUZKOA Y NAVARRA

EL VERTEDERO COMO SISTEMA ACUÍFERO



Memoria presentada por

Miguel Angel GÓMEZ MARTÍN

Para optar al grado de Doctor en Ciencias Geológicas

Leioa, Febrero de 1997

AUTORIZACION DEL DIRECTOR DE TESIS PARA SU PRESENTACION

Dr. Iñaki ANTIGUEDAD AUZMENDI

como Director de la Tesis Doctoral: Estudio hidrológico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos: vertederos de Gipuzkoa y navarra. El vertedero como sistema acuífero.

realizada en el Departamento de GEODINAMICA

por el Doctorando D. Miguel Angel GOMEZ MARTIN, autorizo la presentación de la citada Tesis Doctoral, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

En Leioa, a 29 de Enero de 19 97

EL DIRECTOR DE LA TESIS

Fdo.: I. Antigüedad

documento 5

CONFORMIDAD DEL DEPARTAMENTO

El Departamento de GEODINAMICA

en reunión del día 29 de Enero de 19 97 ha acordado dar la conformidad a la admisión a trámite de lectura de la Tesis Doctoral titulada: Estudio hidrológico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos: vertederos de Gipuzkoa y Navarra. El vertedero como sistema acuífero.

dirigida por el Dr. Iñaki ANTIGUEDAD AUZMENDI

y presentada por D. Miguel Angel GOMEZ MARTIN

ante este Departamento.

En Leioa, a 29 de Enero de 19 97

V° B° EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO

Fdo.: Julia Cuevas

EL SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO

Fdo: Vicente Iribar

ACTA DE GRADO DE DOCTOR
ACTA DE DEFENSA DE TESIS DOCTORAL

DOCTORANDO D. Miguel Angel GOMEZ MARTIN

TITULO DE LA TESIS: Estudio hidrológico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos: vertederos de Gipuzkoa y Navarra. El vertedero como sistema acuífero.

El Tribunal, nombrado por el Excmo. y Magfco. Sr. Rector para calificar la Tesis Doctoral arriba indicada y constituido en el día de la fecha por los miembros que suscriben la presente Acta, una vez efectuada la defensa por el doctorando y contestadas las objeciones y/o sugerencias que se le han formulado, ha otorgado por unanimidad la calificación de:

APTO CUM LAUDE

En Leioa, a 21 de Marzo de 19 97

El Presidente,

Fdo.: M.R. Llamas

El Secretario,

Fdo.: M. Morales

Vocal 1º,

Fdo.: I. Tejero

Vocal 2º,

Fdo.: A. González

Vocal 3º,

Fdo.: A. Pulido

El Doctorando,

Fdo.: M.A. Gómez Martín

documento S

TITULO DE LA TESIS Estudio hidrológico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos: vertederos de Gipuzkoa y Navarra: El vertedero como sistema acuífero.

DEL DOCTORANDO D. Miguel Angel GOMEZ MARTIN

CONSTITUCION DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

Reunidos los miembros abajo firmates, nombrados por el Rector de la Universidad a propuesta de la Comisión de Doctorado, y a la vista de los informes presentados que se adjuntan, se ACUERDA (1) admitir a defensa la Tesis Doctoral arriba citada.

En cumplimiento del Art.9. del Real Decreto 185/1985 (B.O.E. 16-02-85) por el que se establece los Tribunales encargados de juzgar las Tesis Doctorales, los miembros presentes manifiestan cumplir los requisitos establecidos en dicho artículo.

Y para que conste firman la presente Acta todos los reunidos en Leioa, a Veintiuno de Marzo de mil novecientos .

EL PRESIDENTE,

Fdo.: M.R. Llamas

EL SECRETARIO,

Fdo.: T. Morales

EL VOCAL 1º,

Fdo.: I. Tejero

EL VOCAL 2º,

Fdo.: A. González

EL VOCAL 3º,

Fdo.: A. Pulido

(1) acuerda acuerdan

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis doctoral no hubiera sido posible sin el apoyo y colaboración de numerosas personas y distintas entidades y organismos. A todos ellos deseo expresarles mi más sincero agradecimiento y dedicarles este apartado.

En primer lugar quiero agradecer al Departamento de Educación, Universidades e Investigación del Gobierno Vasco/Eusko Jaurlaritza la financiación de este estudio mediante la concesión de una Beca para la Formación de Investigadores entre los años 1991/1995. También a la Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia, que a través de dos proyectos de investigación ha permitido la finalización del mismo.

A Iñaki Antiguedad, al que agradezco no sólo la dirección de este trabajo, sus aportaciones, críticas y correcciones, sino también la posibilidad que me ha dado de formarme en el campo de la Hidrogeología.

A Carlos Luengo, compañero de despacho, por todas las sugerencias realizadas y por el desarrollo de varios programas informáticos que han simplificado el tratamiento de parte de la información utilizada.

A Vicente Iribar, Hilario Llanos, y Tomás Morales, todos ellos profesores de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, y a Jose Miguel Sánchez Pérez (Universidad Louis Pasteur, Strasbourg), por sus ideas que han ayudado a enriquecer este estudio. También al último de los citados por su amable acogida durante la estancia realizada en Strasbourg.

A Carlos Pérez, Amaia Aguirre e Iñaki Bañares (Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia), les agradezco toda la información suministrada sobre los vertederos estudiados, la cual ha permitido ampliar de forma considerable los objetivos de este estudio. También a Iñaki Castillo (Mancomunidad de San Marcos), Iñaki Erauskin (Mancomunidad de Sasieta), Xabier Zabala e Iñigo Galiana (Fomento de Construcciones y Contratas S.A.), Virginia Albillos (Laboratorio de Fraisoro) y a Jose Luis (vertedero de Lapatx) por su amabilidad a la hora de proporcionarme valiosas informaciones sobre múltiples aspectos.

A Asunción Iturria, Camino Lizarraga, Jose María Cayuela y Carmen Lainez (Servicios de la Comarca de Pamplona S.A.) por las informaciones aportadas sobre el vertedero de Góngora.

A Alberto Bonilla y Roberto Zubiaga (Dpto. de Medio Ambiente y Química de los laboratorios LABEIN) por facilitarme información inicial sobre caudales de lixiviados en el vertedero de Lapatx y por posibilitarme la utilización de diverso instrumental técnico e informático.

A los compañeros y ex-compañeros del Grupo de Hidrogeología por las muchas sugerencias y enseñanzas aportadas durante tantas jornadas de discusiones: Jose Miguel Gonzalo, Carlos Luengo, Iñaki Arrate, Jesús García Muñiz, Zorione Aurrekoetxea, Nuria Aguado, Manu Monge e Inma Mugerza.

A los compañeros geólogos, doctorandos también, con los que he compartido tantas comidas y tertulias: Jose Antonio Ibáñez, Javier Sangüesa, Raquel García, Arturo Apraiz, Josu Azkarraga, Ainhoa Alonso, Mikel Erkiaga. También a Alberto Barcenilla, Guillermo Bernal, Aitor Zulueta y demás amigos por sus ánimos a lo largo de estos años.

A mis padres y hermanos, que me han apoyado desde el primer momento.

A mi familia,
especialmente
a mi madre

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE VERTEDEROS CONTROLADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: VERTEDEROS DE GIPUZKOA Y NAVARRA.

EL VERTEDERO COMO SISTEMA ACUÍFERO

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación, antecedentes y objetivos 1.1

1.2. Metodología y limitaciones 1.3

1.3. Estructura de la memoria 1.4

CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS VERTEDEROS DE R.S.U. ESTUDIADOS

2.1. Vertedero de Lapatx (Azpeitia) 2.2
2.1.1. Situación geográfica 2.2
2.1.2. Características del medio físico 2.2
2.1.3. Características específicas 2.5

2.2. Vertedero de San Marcos (Renteria) 2.7
2.2.1. Situación geográfica 2.7
2.2.2. Características del medio físico 2.7
2.2.3. Características específicas 2.9

2.3. Vertedero de Petritegi (Astigarraga) 2.13
2.3.1. Situación geográfica 2.13
2.3.2. Características del medio físico 2.13
2.3.3. Características específicas 2.14

2.4. Vertedero de Ventas (Irun) 2.17
2.4.1. Situación geográfica 2.17
2.4.2. Características del medio físico 2.17
2.4.3. Características específicas 2.19

2.5. Vertedero de Urteta (Zarautz) 2.22
2.5.1. Situación geográfica 2.22
2.5.2. Características del medio físico 2.23
2.5.3. Características específicas 2.24

2.6. Vertedero de Sasieta (Beasain) 2.27
2.6.1. Situación geográfica 2.27
2.6.2. Características del medio físico 2.28
2.6.3. Características específicas 2.28

2.7. Vertedero de San Blas (Tolosa) 2.31
2.7.1. Situación geográfica 2.31
2.7.2. Características del medio físico 2.31
2.7.3. Características específicas 2.32

2.8. Vertedero de Góngora 2.36
2.8.1. Situación geográfica 2.36
2.8.2. Características del medio físico 2.36
2.8.3. Características específicas 2.37

2.9. Climatología 2.38
2.9.1. Características climáticas generales de Gipuzkoa 2.38
2.9.2. Régimen pluviométrico en las áreas de los vertederos 2.40

CAPÍTULO 3: BALANCE HÍDRICO EN VERTEDEROS DE R.S.U.

3.1. Introducción 3.1

3.2. Elementos del balance hídrico 3.2
3.2.1. Entradas 3.3
3.2.2. Salidas 3.7
3.2.3. Características de almacenamiento de los residuos 3.13
3.2.4. Infiltración y percolación 3.19
3.2.5. Generación de lixiviados 3.21

3.3. Estimación del balance hídrico en casos concretos 3.24
3.3.1. Método básico del balance de agua 3.24
3.3.2. Métodos para vertederos en activo 3.26
3.3.3. Estimación del balance hídrico en vertederos de zonas áridas y semiáridas 3.31

3.4. Generación de lixiviados en distintos vertederos 3.32

3.5. Conclusiones 3.36

CAPÍTULO 4: GENERACIÓN DE LIXIVIADOS EN LOS VERTEDEROS DE R.S.U. ESTUDIADOS

4.1. Introducción 4.1

4.2. Vertedero de Lapatx 4.2
4.2.1. Antecedentes 4.2
4.2.2. Características de los aparatos instalados 4.2
4.2.3. Procedimiento de volcado de datos y tratamiento previo de los mismos 4.5
4.2.4. Problemas surgidos durante el periodo controlado 4.8
4.2.5. Estudio de los hidrogramas y de las evoluciones de temperatura y conductividad 4.17

4.3. Vertedero de Góngora 4.67
4.3.1. Antecedentes 4.67
4.3.2. Características de los aparatos instalados. Volcado de datos y tratamiento previo de los mismos. problemas surgidos 4.67
4.3.3. Estudio de los hidrogramas 4.69

4.4. Vertedero de San Marcos 4.83
4.4.1. Antecedentes 4.83
4.4.2. Características de los aparatos instalados. Volcado de datos y tratamiento previo de los mismos. Problemas surgidos 4.84
4.4.3. Estudio de los hidrogramas y de las evoluciones de los parámetros físico-químicos 4.86

4.5. Vertedero de Sasieta 4.92
4.5.1. Estimación de los caudales generados 4.92

4.6. Balances hídricos 4.95
4.6.1. Consideraciones generales 4.95
4.6.2. Problemática en los vertederos de San Marcos, Sasieta y Góngora 4.96
4.6.3. Balance hídrico en el vertedero de Lapatx 4.97

4.7. Modelización del balance hídrico 4.105
4.7.1. Modelos existentes 4.105
4.7.2. Características del modelo HELP 4.110
4.7.3. Aplicación del modelo HELP en el vertedero de Lapatx 4.113

4.8. Conclusiones 4.120

4.9. Recomendaciones 4.126

CAPÍTULO 5: CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN VERTEDEROS DE R.S.U.

5.1. Introducción 5.1

5.2. Descripción del proceso de degradación en vertederos de R.S.U. 5.1
5.2.1. Factores que favorecen la degradación 5.6

5.3. Parámetros físico-químicos 5.8
5.3.1. Parámetros indicadores 5.8
5.3.2. Contaminantes específicos 5.10

5.4. Factores que afectan a la composición del lixiviado 5.15
5.4.1. Composición de la basura 5.15
5.4.2. Composición del resto de materiales vertidos y relación R.S.U./resto de materiales 5.17
5.4.3. Sistema de explotación 5.18
5.4.4. Edad del vertedero 5.19
5.4.5. Tasa de entrada de agua (natural o artificial) 5.21
5.4.6. Geometría del vertedero 5.21
5.4.7. Condiciones climáticas. Temperatura del vertedero 5.21
5.4.8. Técnicas de muestreo, conservación y técnicas analíticas 5.22

5.5. Estimación de la contaminación potencial 5.22

5.6. Composición físico-química de los lixiviados. Recopilación bibliográfica 5.24

5.7. Evolución de la composición físico-química de los lixiviados 5.30

5.8. Contaminantes orgánicos prioritarios 5.35
5.8.1. Posibles mecanismos de transferencia 5.38

5.9. Composición microbiológica 5.39

5.10. Modelos de composición de lixiviados 5.40

CAPÍTULO 6: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN LOS VERTEDEROS DE R.S.U. ESTUDIADOS

6.1. Introducción 6.1

6.2. Procedimientos de muestreo y análisis 6.2

6.3. Análisis de calidad de la información de partida 6.5
6.3.1. Consideraciones generales 6.5
6.3.2. Criterios utilizados 6.5

6.4. Tratamiento estadístico de la información 6.10
6.4.1. Introducción 6.10
6.4.2. Análisis univariante 6.12
6.4.3. Métodos de correlación 6.15
6.4.4. Análisis multivariante 6.15

6.5. Caracterización físico-química de los lixiviados estudiados. Por vertederos 6.17
6.5.1. Métodos empleados 6.17
6.5.2. Vertedero de Lapatx 6.19
6.5.3. Vertedero de San Marcos 6.25
6.5.4. Vertedero de Petritegi 6.30
6.5.5. Vertedero de Ventas 6.36
6.5.6. Vertedero de Urteta 6.42
6.5.7. Vertedero de Sasieta 6.48
6.5.8. Vertedero de San Blas 6.53
6.5.9. Vertedero de Góngora 6.58
6.5.10. Caracterización conjunta de los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa 6.62
6.5.11. Calidad físico-química de los lixiviados 6.92
6.5.12. Conclusiones 6.95

6.6. Caracterización físico-química de los lixiviados estudiados. Por parámetros 6.100
6.6.1. Métodos empleados 6.100
6.6.2. Parámetros físico-químicos básicos 6.101
6.6.3. Parámetros indicativos de contaminación orgánica 6.106
6.6.4. Metales 6.112
6.6.5. Iones mayoritarios y minoritarios 6.119
6.6.6. Otros parámetros 6.129
6.6.7. Conclusiones 6.130

6.7. Comparación con la caracterización recogida en la bibliografía 6.132

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

CAPÍTULO 4
Anexo 4.1. Listado de programas y estructura de las bases de datos utilizadas.
Anexo 4.2. Series de datos de partida para el Análisis correlatorio y espectral.
Anexo 4.3. Resultados del Análisis correlatorio y espectral.
Anexo 4.4. Fundamento del cálculo de la evapotranspiración potencial y de la percolación a intervalos de 30 minutos en el vertedero de R.S.U. de Lapatx.

CAPÍTULO 6
Anexo 6.1. Análisis considerados en este estudio y procedencia de los mismos.
Anexo 6.2. Técnicas analíticas empleadas en el laboratorio de Osakidetza (Donostia-San Sebastián), arriba, y en el del CTRSU de Góngora (Navarra), abajo.
Anexo 6.3. Técnicas analíticas empleadas en los laboratorios LABEIN.
Anexo 6.4. Determinaciones físico-químicas de lixiviados.
Anexo 6.5. Matrices de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson).
Anexo 6.6. Histogramas de frecuencia para las principales variables consideradas.

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Lapatx.
Tabla 2.2. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de San Marcos.
Tabla 2.3. Composición media de los R.S.U. generados en la Mancomunidad de San Marcos.
Tabla 2.4. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Urteta.
Tabla 2.5. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Sasieta.
Tabla 2.6. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de San Blas.
Tabla 2.7. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Góngora.
Tabla 2.8. Características de las estaciones meteorológicas de referencia. (P: Pluviométrica; PT: Termopluviométrica; C: completa: precipitación, temperatura, humedad, radiación, dirección y velocidad del viento; A: automática).
Tabla 2.9. Precipitaciones anuales y estadísticos principales en las estaciones pluviométricas de referencia (periodo 1977-1994).
Tabla 2.10. Precipitaciones medias mensuales en las estaciones pluviométricas de referencia (periodo 1977-1994, salvo para Ilundain, 1980-1994).

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Coeficientes de escorrentía según Fenn *et al.* (1975), izquierda, y Blakey (1989), derecha.
Tabla 3.2. Densidad húmeda, humedad inicial, capacidad de campo y capacidad de absorción de R.S.U. (McBean *et al.*, 1995).
Tabla 3.3. Valores de conductividad hidráulica según distintos autores.
Tabla 3.4. Balance global teórico de agua en un vertedero de R.S.U.
Tabla 3.5. Resultados de los balances hídricos en 6 vertederos de R.S.U. de la U.E. (Nolting *et al.*, 1995).
Tabla 3.6. Generación de lixiviados en distintos vertederos de Alemania (Ehrig, 1983).

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Características de los sensores de la estación HYDRODATA-1256 (Lapatx).
Tabla 4.2. Características de los sensores de la estación METOSDAT (Lapatx).
Tabla 4.3. Formato de los registros de los ficheros generados por la estación HYDRODATA-1256 (Lapatx).
Tabla 4.4. Resultados de la descomposición química de hidrogramas.Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.5. Resumen mensual de caudales medios, rangos de caudales, volúmenes de lixiviados y precipitaciones. Vertedero de Lapatx. (*) meses con pequeños huecos, de pocas horas, cuyos valores medios también han sido considerados.
Tabla 4.6. Relación precipitación-aportación de lixiviados a escala mensual. Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.7. Valores medios mensuales de temperatura, conductividad y caudales. Lixiviados del vertedero de Lapatx. Entre paréntesis se indican las variaciones con respecto al año anterior. (*) meses con pequeños huecos, de pocas horas, cuyos valores medios también han sido considerados.
Tabla 4.8. Valores medios y rangos de temperatura y de conductividad real. Lixiviados del vertedero de Lapatx.
Tabla 4.9. Caudales de base (Q_b), caudales punta (Q_p), relación Q_p/Q_b y precipitación registrada para las crecidas aisladas diferenciadas. Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.10. Influencia de los eventos de precipitación largos sobre el caudal generado. Vertedero de Lapatx
Tabla 4.11. Descensos de temperatura (°C) y conductividad (mS/cm) asociados a crecidas aisladas. Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.12. Características de los Análisis correlatorios y espectrales efectuados. Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.13. Parámetros característicos deducidos de los Análisis correlatorios y espectrales efectuados. Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.14. Parámetros obtenidos a partir de los agotamientos estudiados. Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.15. Distribución de frecuencias de los caudales clasificados. Vertedero de Lapatx.
Tabla 4.16. Formato de los registros de los ficheros generados por la estación METEODATA-1256 (Góngora).
Tabla 4.17. Resumen mensual de caudales medios, rangos de caudales, volúmenes de lixiviados y precipitaciones. Vertedero de Góngora.
Tabla 4.18. Relación precipitación-aportación de lixiviados a escala mensual. Vertedero de Góngora.
Tabla 4.19. Distribución de frecuencias de los caudales clasificados. Vertedero de Góngora.
Tabla 4.20. Formato de los registros de los ficheros generados por la estación HYDRODATA-1256 (San

Marcos).
Tabla 4.21. Cantidades de lixiviados (kg) extraidos del depósito de recogida de lixiviados del vertedero de Sasieta.
Tabla 4.22. Cantidades anuales de lixiviados, caudales medios y relación lixiviados/precipitación. Vertedero de Sasieta.
Tabla 4.23. Estimación de los caudales de lixiviados generados en el vertedero de Sasieta durante periodos de diferente longitud. Caudales medios y relación con las precipitaciones registradas en la estación de Ordizia.
Tabla 4.24. Comparación entre las entradas de agua (100% de la precipitación) y las cantidades registradas en el vertedero de Góngora.
Tabla 4.25. Comparación de las precipitaciones registradas en las estaciones cercanas al vertedero de Lapatx con las registradas en el mismo vertedero.
Tabla 4.26. Resultados del balance hídrico en el vertedero de Lapatx para los diferentes escenarios considerados (ΔU: variación de la humedad retenida por el suelo).
Tabla 4.27. Datos de entrada para los diferentes escenarios considerados. Modelo HELP.3.
Tabla 4.28. Resultados anuales y mensuales proporcionados por el modelo HELP.3. Comparación con los resultados obtenidos mediante otros métodos.

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1. Resumen de los factores influyentes en la estabilización de un vertedero (Yuen *et al.*, 1995).
Tabla 5.2. Composición (% en peso seco) de los R.S.U. en estados de la Unión Europea (MOPT, 1992).
Tabla 5.3. Resultados de análisis de R.S.U. (basado en Ehrig & Scheelhaase, 1993) y tasas de lixiviación para algunos elementos según estos autores y Aulin & Neretnieks (1995).
Tabla 5.4. Categorías y composición físico-química de los R.S.U. vertidos en vertederos italianos (Del Greco & Oggeri, 1993).
Tabla 5.5. Composición media de la fracción no combustible de los residuos vertidos en vertederos americanos (Lisk, 1991).
Tabla 5.6. Influencia del tipo de basura y material de cubrición sobre el quimismo de los lixiviados (Clark & Piskin, 1977).
Tabla 5.7. Tipos de residuos vertidos, y sus % relativos, en 30 vertederos holandeses en 1970 y en 1987 (Beker, 1988).
Tabla 5.8. Valores de C_o y k (Lu *et al.*, 1981).
Tabla 5.9. Características físico-químicas de lixiviados generados en vertederos de R.S.U.: 1 (Clark & Piskin, 1977); 2 (Fuller *et al.*, 1979); 3 (Kmet & McGinley, 1982); 4 (Sridharan & Didier, 1988); 5 (Cheremisinoff & Gigliello, 1983); 6 (Jasper *et al.*, 1985); 7 (Beker, 1988); 8 (Castrillón & Berrueta, 1991); 9 (Iza *et al.*, 1992); 10 (Manoharan *et al.*, 1992); 11 (Chilton & Chilton, 1992); 12 (Minko & Lifshits, 1993); 13 (Tejero *et al.*, 1993); 14 (Jones Lee & Fred Lee, 1993); 15 (Clément *et al.*, 1993); 16 (Flyhammar, 1995); 17 (Howard *et al.*, 1996). Unidades en mg/l salvo pH y conductividad (μS/cm). n (nº de muestras); Q_2 (mediana); ( ) (nº de muestras por encima del límite de detección); nd (no detectado, por debajo del límite de detección).
Tabla 5.10. Características físico-químicas de lixiviados generados en vertederos de R.S.U. (valores medios): 1 (Clark & Piskin, 1977); 4 (Sridharan & Didier, 1988); 5 (Cheremisinoff & Gigliello, 1983); 6 (Jasper *et al.*, 1985); 7 (Beker, 1988); 8 (Castrillón & Berrueta, 1991); 9 (Iza *et al.*, 1992); 10 (Manoharan *et al.*, 1992); 11 (Chilton & Chilton, 1992); 12 (Minko & Lifshits, 1993); 14 (Jones Lee & Fred Lee, 1993); 15 (Clément *et al.*, 1993); 16 (Flyhammar, 1995); 17 (Howard *et al.*, 1996); 18 (Rango de medias). Unidades en mg/l salvo pH y conductividad (μS/cm).
Tabla 5.11. Rangos de concentración de diversos contaminantes en función de la edad del vertedero (Farquhar, 1986).
Tabla 5.12. Rangos de concentración de diversos contaminantes en función de la edad del vertedero (Lisk, 1991).
Tabla 5.13. Parámetros con y sin diferencias durante la evolución del vertedero (Ehrig, 1988).
Tabla 5.14. Compuestos orgánicos más frecuentes en la composición de lixiviados de vertederos de R.S.U. (H.C.: hidrocarburos).
Tabla 5.15. Contenidos en AGV y relación AGV/DQO_{total} en lixiviados del vertedero de R.S.U. de Garraf (Barcelona), (Ibáñez & Lema, 1986).
Tabla 5.16. Características bacteriológicas de lixiviados de vertederos de R.S.U. (Clément *et al.*, 1993).

CAPÍTULO 6

Tabla 6.1. Técnicas analíticas empleadas en el laboratorio de Fraisoro (Diputación Foral de Gipuzkoa/ Gipuzkoako Foru Aldundia).
Tabla 6.2. Distribución de los análisis efectuados por años y por procedencia.
Tabla 6.3. Errores de referencia para el balance de análisis (Custodio & Llamas, 1983).

Tabla 6.4. Errores (%) de los análisis efectuados (en cursiva y negrita, los análisis eliminados, error >20%).
Tabla 6.5. Umbrales de anomalía L_2^+ para las variables analizadas.
Tabla 6.6. Determinaciones eliminadas aplicando conjuntamente el método de umbrales y el método gráfico.
Tabla 6.7. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Lapatx. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (μS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (μg/l).
Tabla 6.8. Matriz de correlación. Vertedero de Lapatx.
Tabla 6.9. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de San Marcos. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (μS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (μg/l).
Tabla 6.10. Matriz de correlación. Vertedero de San Marcos.
Tabla 6.11. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Petritegi. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (μS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (μg/l).
Tabla 6.12. Matriz de correlación. Vertedero de Petritegi.
Tabla 6.13. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Ventas. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (μS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (μg/l).
Tabla 6.14. Matriz de correlación. Vertedero de Ventas.
Tabla 6.15. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Urteta. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (μS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (μg/l).
Tabla 6.16. Matriz de correlación. Vertedero de Urteta.
Tabla 6.17. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Sasieta. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (μS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (μg/l).
Tabla 6.18. Matriz de correlación. Vertedero de Sasieta.
Tabla 6.19. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de San Blas. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (μS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (μg/l).
Tabla 6.20. Matriz de correlación. Vertedero de San Blas.
Tabla 6.21. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Góngora. Unidades en mg/l salvo pH y conductividad (μS/cm).
Tabla 6.22. Matriz de correlación. Vertedero de Góngora.
Tabla 6.23. Resultados del test Kolmogorov-Smirnoff para las hipótesis de distribución normal y lognormal.
Tabla 6.24. Modelos de distribución (normal o lognormal) para los parámetros analizados.
Tabla 6.25. Secuencias de cationes, aniones y metales en los lixiviados estudiados.
Tabla 6.26. Grupos de parámetros relacionados entre sí (r >0,5).
Tabla 6.27. Asociaciones o familias de variables deducidas a partir de los análisis Cluster.
Tabla 6.28. Relaciones entre los factores deducidos por los ACP y las variables primitivas.
Tabla 6.29. Matrices factoriales rotadas resultantes para los 7 ACP efectuados.
Tabla 6.30. Valores propios y % de varianza explicada por los factores principales deducidos.
Tabla 6.31. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertederos de Gipuzkoa.
Tabla 6.32. Matriz de correlación. Vertederos de Gipuzkoa.
Tabla 6.33. Matrices factoriales rotadas y valores propios y % de varianza explicada por los factores deducidos considerando conjuntamente la información de los 7 vertederos de Gipuzkoa.
Tabla 6.34. Comparación de los valores centrales: Góngora y vertederos de Gipuzkoa (conjuntamente).
Tabla 6.35. Matrices factoriales rotadas y valores propios y % de varianza explicada por los factores deducidos considerando los datos de Góngora, y conjuntamente los de los 8 vertederos estudiados.
Tabla 6.36. Referencias de calidad de efluentes vertidos a cauces públicos y a colectores, de aguas destinadas a la producción de agua potable, y concentraciones máximas admisibles en aguas de consumo humano.
Tabla 6.37. Comparación de los valores centrales de los parámetros analizados con distintas referencias de calidad.
Tabla 6.38. a) Parámetros que sobrepasan los límites permitidos en vertidos a cauces públicos (R.D. 849/1986). b) Parámetros que nunca sobrepasan dichos límites.
Tabla 6.39. Resumen estadístico de la temperatura, pH, conductividad, turbidez y S.S.
Tabla 6.40. Resumen estadístico de los parámetros NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, C.a.e. y TOC.
Tabla 6.41. Resumen estadístico de los metales Fe, Mn, Al, Zn y Cr.
Tabla 6.42. Resumen estadístico de los metales Pb, Ni, Cu, Cd y Hg.
Tabla 6.43. Resumen estadístico de los iones Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} y CO_3H^-.
Tabla 6.44. Resumen estadístico de los iones Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-} y NO_2^-.
Tabla 6.45. Resumen estadístico de CN, fenoles y P.
Tabla 6.46. Clasificación de vertederos según sus valores centrales para los principales parámetros analizados.
Tabla 6.47. Comparación del quimismo de los lixiviados de los vertederos estudiados con el quimismo deducido de la recopilación bibliográfica.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Situación geográfica de los vertederos de R.S.U. estudiados. Escala 1:150.000 salvo en la figura superior (sin escala) y en el mapa de Góngora (1:300.000).
Figura 2.2. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Lapatx. Aspectos hidrológicos.
Figura 2.3. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de San Marcos. Aspectos hidrológicos.
Figura 2.4. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Petritegi. Aspectos hidrológicos.
Figura 2.5. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Ventas. Aspectos hidrológicos.
Figura 2.6. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Urteta. Aspectos hidrológicos.
Figura 2.7. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Sasieta. Aspectos hidrológicos.
Figura 2.8. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de San Blas. Aspectos hidrológicos.
Figura 2.9. El flujo del W produce fuertes lluvias en Galicia, resbala por Cantabria provocando lluvias escasas, y se torsiona hacia el Mediterráneo por el País Vasco, produciendo aquí fuertes lluvias (Uriarte, 1980).
Figura 2.10. Flujos del N y del NE en Europa Occidental provocan fuertes lluvias en el País Vasco al torsionarse hacia la cuenca mediterránea (Uriarte, 1980).
Figura 2.11. Evoluciones de las precipitaciones anuales y valores medios en las estaciones de referencia de Gipuzkoa para el periodo 1977-1994.
Figura 2.12. Distribución mensual de las precipitaciones registradas en las estaciones de referencia de Gipuzkoa para el periodo 1977-1994.
Figura 2.13. Evolución anual y distribución mensual de la precipitación en la estación pluviométrica de Ilundain (periodo 1980-1994).

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Factores determinantes de la producción de lixiviados.
Figura 3.2. Productos principales generados en la descomposición aerobia y anaerobia de la fracción orgánica de los R.S.U. (LABEIN, 1989).
Figura 3.3. Perfiles de temperatura en el vertedero de Ano Liossia (Atenas). Temperatura ambiente: en la leyenda. (Coumoulos *et al.*, 1995).
Figura 3.4. Proceso de absorción de humedad por parte de los R.S.U. (Knox, 1991).
Figura 3.5. Perfiles de humedad en el vertedero de Ano Liossia (Atenas), (Coumoulos *et al.*, 1995).
Figura 3.6. Relaciones capacidad de absorción-densidad en R.S.U. (Knox, 1991).
Figura 3.7. Relaciones coeficiente de almacenamiento saturado-densidad en R.S.U. (Knox, 1991).
Figura 3.8. Variación de la humedad para suelos con y sin vegetación (LABEIN, 1989).
Figura 3.9. Almacenamiento de agua para varios tipos de suelos (Lutton *et al.*, 1979).
Figura 3.10. Representación esquemática del balance hídrico en un vertedero de R.S.U.
Figura 3.11. Modelo hidráulico resumen propuesto por Canziani & Cossu (1989).
Figura 3.12. Método para la predicción del volumen de lixiviados (Furuta *et al.*, 1995).
Figura 3.13. Cálculo teórico del tiempo de saturación de un vertedero (Straka *et al.*, 1993).
Figura 3.14. Precipitaciones y lixiviados generados en distintos vertederos (Ehrig, 1988).
Figura 3.15. Generación de lixiviados en los vertederos alemanes de Künsebeck y Senne (Ehrig, 1988).
Figura 3.16. Relación lixiviados generados-precipitación para un caso concreto (Hartmann & Hoffmann, 1990).
Figura 3.17. Lixiviados generados en el vertedero de Lucas Heights (Syndey, Australia), (Parsons, 1995).
Figura 3.18. Evolución diaria de lixiviados en el vertedero de Chicopee (Massachusetts, USA), (Iza *et al.*, 1991).
Figura 3.19. Relación lixiviados generados-precipitación en el vertedero clausurado de Rose Cottage Farm (Leeds, UK), (Knox, 1991)
Figura 3.20. Generación de lixiviados en los vertederos de Rio Vigne y Rio Riazzone (Reggio Emilia, Italia), (Gasparini & Saetti, 1993).

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Evoluciones anómalas de pH comparadas con las de temperatura y caudal. Datos medios horarios (flechas verticales: operaciones de limpieza).
Figura 4.2. Registros anómalos de conductividad debido a arrastres del sensor (arriba) y al taponamiento del orificio del mismo (abajo). Datos medios horarios (flechas verticales: operaciones de limpieza).
Figura 4.3. Comparación de hidrogramas de lixiviados antes (abajo) y después (arriba) de corregir los errores por efecto de la sedimentación en el aforador. Periodos con crecidas. Datos medios horarios (flechas

verticales: operaciones de limpieza).
Figura 4.4. Comparación de hidrogramas de lixiviados antes (abajo) y después (arriba) de corregir los errores por efecto de la sedimentación en el aforador. Periodos sin crecidas importantes. Datos medios horarios (flechas verticales: operaciones de limpieza).
Figura 4.5. Método utilizado para corregir los efectos de la sedimentación en el aforador.
Figura 4.6. Procesos lluvia-caudal en una cuenca vertiente (arriba), según Llamas (1989) y en un vertedero (abajo).
Figura 4.7. Partes de un hidrograma (modificado de Llamas, 1989).
Figura 4.8. Descomposición química de los hidrogramas correspondientes a distintos periodos (30-9-93 a 11-10-93, arriba; 4-11-93 a 24-11-93, en medio; 14-1-94 a 4-2-94, abajo) utilizando datos horarios de conductividad.
Figura 4.8.(continuación). Descomposición química de los hidrogramas correspondientes a distintos periodos (30-12-94 a 31-1-95, arriba; 16-12-95 a 30-12-95, abajo) utilizando datos horarios de conductividad.
Figura 4.9. Descripción de las funciones analizadas en el dominio temporal (arriba) y frecuencial (abajo), (Llanos, 1992).
Figura 4.10. Izquierda: descomposición de la curva de recesión (Mangin, 1975). Derecha: ejemplo de dos modos de vaciamiento de un sistema hidrológico: A (agotamiento rápido), B (agotamiento lento).
Figura 4.11. Periodos con registro de datos en continuo en el vertedero de Lapatx (línea gris: caudalímetro ZULLIG + datalloger RUSTRAK; línea negra: caudalímetro ZULLIG + estación HYDRODATA-1256).
Figura 4.12. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Azkoitia-Iberdrola. Periodo: Julio-1991/Junio-1996. Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.13. Comparación del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx en los distintos años hidrológicos. Datos diarios medios.
Figura 4.14. Evolución del caudal, temperatura y conductividad (real y corregida a 20°C) de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Azkoitia-Iberdrola. Periodo: Abril-1993/Junio-1996. Datos medios diarios de caudal, temperatura y conductividad, y acumulados diarios de precipitación
Figura 4.15. Comparación entre las temperaturas de los lixiviados del vertedero de Lapatx y las ambientales registradas en el mismo vertedero. Periodo: Abril-1993/Julio-1995. Datos medios diarios.
Figura 4.16. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Agosto. Septiembre-1991 (arriba) y Octubre.Noviembre-1991 (abajo). Datos horarios medios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.17. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Diciembre. 1991-Enero.1992 (arriba) y Febrero.Marzo-1992 (abajo). Datos horarios medios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.18. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Julio. Agosto.Septiembre-1992 (arriba) y Enero.Febrero.Marzo-1993 (abajo). Datos horarios medios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.19. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Abril.Mayo-1993 (arriba) y Junio.Julio.Agosto-1993 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.
Figura 4.20. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Octubre.Noviembre-1993 (arriba) y Diciembre.1993-Enero.1994 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.
Figura 4.21. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Febrero.Marzo-1994 (arriba) y Abril.Mayo-1994 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.
Figura 4.22. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Junio.Julio-1994 (arriba) y Agosto.Septiembre-1994 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.
Figura 4.23. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Octubre.Noviembre-1994 (arriba) y Diciembre.1994-Enero.1995 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.
Figura 4.24. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Febrero.Marzo-1995 (arriba) y Abril.Mayo-1995 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.
Figura 4.25. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Junio.Julio-1995 (arriba) y Septiembre.Octubre-1995 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios (arriba) y diarios (abajo) de precipitación.
Figura 4.26. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Noviembre.Diciembre-1995 (arriba) y Enero.Febrero-1996 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados diarios de precipitación.

Figura 4.27. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Marzo.Abril-1996 (arriba) y Mayo.Junio-1996 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.28. Evolución detallada del caudal, temperatura y caudal (datos horarios medios) de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx en relación a las precipitaciones (datos acumulados horarios) registradas en el mismo vertedero.
Figura 4.29. Resultados del Análisis correlatorio y espectral. Funciones de autocorrelación (izquierda) y espectros de densidad (derecha). Vertedero de Lapatx.
Figura 4.30. Resultados del Análisis correlatorio y espectral. Correlogramas cruzados. Vertedero de Lapatx.
Figura 4.31. Agotamientos diferenciados. Vertedero de Lapatx.
Figura 4.32. Caudales clasificados. Frecuencia acumulada versus caudal . Vertedero de Lapatx.
Figura 4.33. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica situada en el mismo vertedero. Periodo: Enero-1993/Diciembre-1994. Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.34. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora. Meses de Enero. Abril-1993 (arriba) y Mayo.Agosto-1993 (abajo). Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.35. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora. Meses de Septiembre. Diciembre-1993 (arriba) y Enero.Abril-1994 (abajo). Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.36. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora. Meses de Mayo. Agosto-1994 (arriba) y Septiembre.Diciembre-1994 (abajo). Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.
Figura 4.37. Evolución anual de la precipitación y distribución mensual de la misma en las estaciones más cercanas a los vertederos de Lapatx y Góngora (Azkoitia-Iberdrola e Ilundain respectivamente. Periodos: 1977-1994 y 1980-1994).
Figura 4.38. Resultados del Análisis correlatorio y espectral. Vertedero de Góngora.
Figura 4.39. Caudales clasificados. Frecuencia acumulada versus caudal. Vertedero de Góngora.
Figura 4.40. Evolución de la temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto y potencial redox de los lixiviados generados en el vertedero de San Marcos y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Pasajes. Periodo: 23-12-1993/7-3-1994. Datos medios horarios, salvo de precipitación (acumulados diarios). Flechas verticales: operaciones de limpieza.
Figura 4.41. Evolución del caudal, temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto y potencial redox de los lixiviados generados en el vertedero de San Marcos y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Pasajes. Periodo: 30-3-1994/20-5-1994. Datos medios horarios, salvo de precipitación (acumulados diarios). Flechas verticales: operaciones de limpieza.
Figura 4.42. Evolución diaria de los principales componentes del balance hídrico. Vertedero de Lapatx. Periodo: Septiembre.1994-Enero.1995.
Figura 4.43. Resultados del modelo HELP.3. Evolución diaria de los principales componentes del balance hídrico. Vertedero de Lapatx. Periodo: año 1994.

CAPÍTULO 5

Figura 5.1. Cambios en los parámetros indicadores seleccionados (COD=DQO; TVA= ácidos grasos volátiles) durante las fases de la estabilización del vertedero (Pohland *et al.*, 1985).
Figura 5.2. Cambios en los parámetros indicadores (AGV=ácidos grasos volátiles) según Stanforth *et al.* (1979): 1) fase aerobia, 2) fase anaerobia acetogénica y 3) fase anaerobia metanogénica.
Figura 5.3. Evolución de la composición de los lixiviados (COD=DQO; VFT=ácidos grasos volátiles) a lo largo de las diferentes fases establecidas (Christensen & Kjeldsen, 1989; basado en parte en Farquhar and Rovers, 1973 y Ehrig, 1988).
Figura 5.4. Resumen de los procesos de degradación bajo condiciones anaerobias (Yuen *et al.*, 1995).
Figura 5.5. Relación entre los elementos constitutivos de las basuras y la composición de los lixiviados resultantes (Besse, 1988).
Figura 5.6. Flujo de un elemento específico en forma de lixiviado o de gas en función del tiempo (Belevi & Baccini, 1989): $X_{G,i}$: Flujo del elemento i en forma de gas; $X_{L,i}$: Flujo del elemento i en forma de lixiviado; $X_{L,i,e}$: Flujo del elemento i en forma de lixiviado en la situación de "calidad de almacenamiento final".
Figura 5.7. Perfil de temperatura en el vertedero clausurado de Hannover (Alemania), (Collins, 1993).
Figura 5.8. Tendencias generales que siguen los parámetros DQO (COD), DBO_5 (BOD_5) y $N\text{-}NH_4^+$ en el tiempo (Ehrig, 1988).
Figura 5.9. Evolución temporal de algunos parámetros (COD=DQO; BOD_5=DBO_5) para vertederos en activo (Ehrig, 1988).
Figura 5.10. Valores medidos de DQO (COD) en lixiviados de diferentes vertederos y evolución futura

deducida (Ehrig, 1988).
Figura 5.11. Tendencias que siguen la DQO (COD), DBO_5 (BOD_5) y $N\text{-}NH_4^+$ según la edad del vertedero (Hartmann & Hoffmann, 1990).
Figura 5.12. Evolución temporal de $N\text{-}NH_4^+$ y DQO (COD) en lixiviados de vertederos de Hong Kong (Robinson & Luo, 1991).
Figura 5.13. Evolución temporal de los parámetros pH, DQO (COD), DBO (BOD), Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$ en los lixiviados de una de las celdas del vertedero de Compton Basset (Wiltshire, UK), (Robinson & Gronow, 1993).
Figura 5.14. Variación diaria de la contaminación orgánica (COD=DQO; BOD=DBO) en el vertedero de R.S.U. de Chicopee (Massachussetts, USA), (Iza *et al.*, 1992).
Figura 5.15. Evolución de los parámetros DQO (COD), pH, Fe, $N\text{-}NH_4^+$ y conductividad en los lixiviados generados en las dos áreas del vertedero de Río Vigne (Italia), Capuano & Melli (1991) y Melli & Capuano (1993).
Figura 5.16. Lista de los 15 contaminantes orgánicos detectados con mayor frecuencia en aguas subterráneas afectadas por lixiviados procedentes de vertederos de R.S.U. (Arneth *et al.*, 1989).

CAPÍTULO 6

Figura 6.1. Eliminación de valores anómalos mediante métodos gráficos.
Figura 6.2. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Lapatx.
Figura 6.3. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Lapatx.
Figura 6.4. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr.Vertedero de Lapatx.
Figura 6.5. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de San Marcos.
Figura 6.6. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de San Marcos.
Figura 6.7. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de San Marcos.
Figura 6.8. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Petritegi.
Figura 6.9. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Petritegi.
Figura 6.10. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Petritegi.
Figura 6.11. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Ventas.
Figura 6.12. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Ventas.
Figura 6.13. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Ventas.
Figura 6.14. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Urteta.
Figura 6.15. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Urteta.
Figura 6.16. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Urteta.
Figura 6.17. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Sasieta.
Figura 6.18. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Sasieta.
Figura 6.19. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Sasieta.
Figura 6.20. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de San Blas.
Figura 6.21. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de San Blas.
Figura 6.22. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de San Blas.
Figura 6.23. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Góngora.
Figura 6.24. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Góngora.
Figura 6.25. Histogramas de frecuencia para algunas variables características.
Figura 6.26. Diagramas Schoeller-Berkaloff. Vertederos de Gipuzkoa.
Figura 6.27. Dendogramas de variables en los 7 casos considerados.
Figura 6.28. Dendogramas de variables (considerando conjuntamente los 7 vertederos de Gipuzkoa).
Figura 6.29. Distribución de variables y muestras en el plano factorial I-II. Vertederos de Gipuzkoa (12 variables).
Figura 6.30. Distribución de variables y muestras en el plano factorial I-II. Vertederos de Gipuzkoa (21 variables).
Figura 6.31. Distribución de variables y muestras en el plano factorial I-II. Considerando los 8 vertederos.
Figura 6.32. Evolución comparada de la Temperatura en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.33. Evolución comparada del pH en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.34. Evolución comparada de la Conductividad en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.35. Evolución comparada de la Turbidez en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.36. Evolución comparada de S.S. en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.37. Evolución comparada de $N\text{-}NH_4^+$ en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.38. Evolución comparada de NTK en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.39. Evolución comparada de DQO en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.40. Evolución comparada de C.a.e. en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.41. Evolución comparada de TOC en los lixiviados de los vertederos estudiados.

Figura 6.42. Evolución comparada de Fe en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.43. Evolución comparada de Mn en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.44. Evolución comparada de Al en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.45. Evolución comparada de Zn en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.46. Evolución comparada de Cr en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.47. Evolución comparada de Conductividad y Na^+ en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.48. Evolución comparada de K^+ y Ca^{2+} en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.49. Evolución comparada de Mg^{2+} y NH_4^+ en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.50. Evolución comparada de CO_3H^- y Cl^- en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.51. Evolución comparada de SO_4^{2-} y NO_3^- en los lixiviados de los vertederos estudiados.
Figura 6.52. Evolución comparada de PO_4^{3-} en los lixiviados de los vertederos estudiados.

ÍNDICE DE FOTOS

CAPÍTULO 2

Fotos 2.1 y 2.2. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Lapatx. Arriba: situación en Marzo de 1988. Abajo: situación en Abril de 1995.
Fotos 2.3 y 2.4. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de San Marcos (Febrero de 1995).
Fotos 2.5 y 2.6. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Petritegi. Arriba: situación en 1988. Abajo: situación en Abril de 1995.
Fotos 2.7 y 2.8. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Ventas (Marzo de 1993).
Fotos 2.9 y 2.10. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Urteta (Febrero de 1995).
Fotos 2.11 y 2.12. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Sasieta (Abril de 1991).
Fotos 2.13 y 2.14. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de San Blas (Abril de 1995).
Fotos 2.15 y 2.16. Celdas de vertido en el vertedero de R.S.U. de Góngora.

CAPÍTULO 4

Fotos 4.1. Caudalímetro ZULLIG y arqueta de control de lixiviados.
Fotos 4.2. Estación meteorológica METOSDAT.
Fotos 4.3. Detalle de la estación automática HYDRODATA-1256.
Fotos 4.4. Proceso de volcado de la información almacenada.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación, antecedentes y objetivos 1.1

1.2. Metodología y limitaciones 1.3

1.3. Estructura de la memoria 1.4

1.1. JUSTIFICACIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Actualmente, la técnica de tratamiento de residuos sólidos urbanos (R.S.U.) más generalizada en los países desarrollados es, sin duda, la del vertedero controlado. Entre las características y operaciones básicas que definen, en teoría, a un vertedero auténticamente controlado destacan:

- La disposición de los R.S.U. en un emplazamiento adecuadamente impermeabilizado y preparado.
- La extensión y compactación de los residuos en capas delgadas.
- La cubrición diaria, o más frecuente si es necesario, de los residuos con una capa compactada de tierra u otro material adecuado alternativo.
- La consideración de las operaciones diarias en el vertedero con la misma importancia que la que se da a cualquier fase de construcción de una obra de ingeniería.
- La cubrición final del vertedero de forma correcta (sellado) una vez agotada su vida útil.
- La adecuada reutilización del emplazamiento una vez sellado el vertedero.
- El control de todas las emisiones (lixiviados, gases) y peligros que se generan tanto durante la fase de actividad como una vez clausurado.

La existencia de vertederos controlados es, hoy por hoy, totalmente necesaria, bien como sistema único de tratamiento de residuos, bien como complemento a otras técnicas. Sin embargo, uno de los mayores problemas que condiciona la gestión de dichos vertederos controlados es la generación de volúmenes, a veces importantes, de lixiviados, caracterizados por su toxicidad y dificultad de tratamiento.

En muchos casos, el fracaso de los vertederos controlados como técnica para el tratamiento final de R.S.U. se ha debido a la deficiente, o nula, previsión del volumen y caracterización de los lixiviados que se van a generar, así como al desconocimiento de las grandes variaciones que tienen lugar en dicha producción a lo largo de la vida de los vertederos e incluso con posterioridad a su clausura.

En la presente investigación se aborda este problema desde dos puntos de vista:

- Por una parte, se realiza un estudio bibliográfico exhaustivo, como referencia, centrado en la producción y caracterización de lixiviados generados en vertederos controlados de R.S.U., incluyendo también resultados derivados de ensayos en laboratorio.

- Por otra parte, se han controlado siete vertederos situados en Gipuzkoa y uno en Navarra con vistas a conocer en detalle su comportamiento hidrológico y las características físico-químicas de sus lixiviados.

En el País Vasco se han realizado muy pocos trabajos relacionados con este tema, y en ningún caso hasta ahora se había llevado a cabo una investigación continuada y profunda poniendo énfasis en los aspectos hidrológicos que conllevan los vertederos.

Previamente a la iniciación de la presente investigación, el Grupo de Hidrogeología de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (U.P.V./E.H.U.) y el Dpto. de Medio Ambiente y Química de los Laboratorios de Ensayos e Investigaciones-LABEIN de

Bilbao realizaron unas investigaciones parciales sobre algunos vertederos del País Vasco. Como resultado de las mismas se completaron en su día diferentes memorias y artículos (LABEIN & Grupo de Hidrogeología, 1988, 1989, 1990; Zubiaga *et al.*, 1989, 1991; Antigüedad *et al.*, 1991). Posteriormente, el especial interés mostrado por la Diputación Foral de Gipuzkoa/ Gipuzkoako Foru Aldundia en lo que a la gestión de lixiviados en ese territorio se refiere se vió reflejado en la realización de dos proyectos de investigación (Grupo de Hidrogeología, 1994 y 1996) y de diversos artículos (Gómez-Martín *et al.*, 1995a, b y c)

A nivel estatal, los pocos trabajos llevados a cabo en relación al tema, han sido enfocados al análisis y control de las aguas de lixiviación, sin abordar, en ningún caso, de una forma global y profunda el contexto hidrológico en el que dichos lixiviados se generan.

La situación es bien distinta en USA, en países de la UE (Alemania, Francia, Holanda, etc.) y en otros países de alto nivel tecnológico (Canadá, Japón), en los que el tema ha sido objeto de diversos estudios y programas de investigación, habiéndose llegado al desarrollo de diversos modelos tanto de cuantificación como de caracterización de lixiviados.

Este interés a nivel internacional se ha visto reflejado en la celebración de múltiples reuniones y congresos monográficos en la mayoría de los países citados anteriormente, siendo quizás los celebrados bianualmente en la isla italiana de Cerdeña los más importantes, habiéndose dado cita en la última edición (1995) más de 900 técnicos en la materia procedentes de 35 países.

Con la presente investigación, se pretende desarrollar esta línea de trabajo en el ámbito del País Vasco, utilizando para ello como objeto de estudio siete vertederos de R.S.U. existentes en Gipuzkoa y uno en Navarra.

Como objetivos más importantes se pueden destacar los siguientes:

- Realizar una recopilación de la información disponible en la bibliografía moderna sobre generación y caracterización de lixiviados en vertederos controlados de R.S.U. Se pretende con ello que este trabajo constituya, por sí mismo, una obra de referencia y de síntesis del "estado del arte" para estudios posteriores más detallados.

- Recopilar la mayor cantidad posible de información relativa a los vertederos controlados de R.S.U. existentes en Gipuzkoa (activos o clausurados) y sobre el vertedero de Góngora (Navarra).

- Efectuar un seguimiento en continuo del caudal de lixiviados y de los factores condicionantes en vertederos reales con vistas a conocer en detalle su dinámica hidrológica. Esfuerzo en la estimación precisa de los balances hídricos.

- Proceder a la puesta a punto y validación en el País Vasco de técnicas de modelización desarrolladas en otros países para la previsión de cantidades de lixiviados con vistas a la mejora de la gestión global de los vertederos.

- Caracterizar el quimismo de los lixiviados generados en los vertederos considerados. Establecer y explicar sus diferencias y semejanzas y determinar sus tendencias temporales.

- Avanzar en la investigación de los mecanismos de formación de lixiviados y en la relación de las cantidades y calidades de los mismos con los posibles factores influyentes (factores meteorológicos, factores geomorfológicos, características y composición de los residuos vertidos, sistema de tratamiento, edad del vertedero, etc.).

- Seguir profundizando, en definitiva, en el estudio de identificación y descripción de los procesos básicos que tienen lugar en el interior de los vertederos y en su entorno próximo con el fin último de mejorar su gestión y minimizar su impacto ambiental.

1.2. METODOLOGÍA Y LIMITACIONES

A la hora de abordar el estudio de la dinámica hidrológica de los vertederos controlados de R.S.U., se ha considerado a los mismos como un tipo particular de acuífero en el que los propios residuos acumulados constituyen el medio "rocoso" a través del cual se va a dar el flujo, encontrándose allí tanto una zona saturada (reguladora de los lixiviados) como una zona no saturada (zona de infiltración).

En definitiva, lo que se ha hecho es equiparar el funcionamiento de los vertederos al de los acuíferos, aplicando a aquéllos la metodología propia de la investigación de éstos, tanto en la dinámica de flujo, como en la dinámica del transporte de masa.

Aunque en los diferentes capítulos de esta memoria se explican detalladamente las técnicas utilizadas en cada caso, en este apartado se resume brevemente la metodología de trabajo empleada:

1. Recopilación bibliográfica de la información existente sobre "Generación y caracterización físico-química de lixiviados generados en vertederos de R.S.U."

Se han realizado consultas en la biblioteca central de la U.P.V/E.H.U. y en organismos públicos vascos (IHOBE A.B., Diputaciones Forales). También se han consultado diversas bases de datos tanto estatales como internacionales: N.T.I.S.(National Technical Information Service, USA); C.S.I.C. (Centro Superior de Investigaciones Científicas); bases de datos del "Centro de Documentación sobre Medio Ambiente", de la Dirección General de Política Ambiental (actual Ministerio de Medio Ambiente); U.M.I. (Base de datos que recoge todas las tesis doctorales leídas, principalmente en las Universidades de Estados Unidos); otras bases de datos (Current Contents, Enviroline, Pollution Abstracts).

2. Recopilación de la información existente sobre los vertederos controlados de la provincia de Gipuzkoa y sobre el vertedero de Góngora (Navarra) y revisión de la misma mediante la realización de visitas de campo. Diferenciación entre ellos en base a distintas características:

- Características del vertedero: características de los residuos vertidos y tratamiento de los mismos; edad, o fecha de inicio de vertidos; cambios en cuanto al tratamiento o naturaleza de los vertidos; sistemas de recogida y canalizado de aguas superficiales y lixiviados.

- Características del medio donde se ubican los vertederos: factores meteorológicos; factores geológicos y geomorfológicos; factores hidrológicos e hidrogeológicos.

3. Control detallado, en los vertederos de Lapatx, San Marcos y Góngora, de diversos parámetros tanto en el espacio como en el tiempo:

- Precipitaciones: medida de cantidades e intensidades.
- Otras variables meteorológicas: temperatura, humedad, vientos, radiación solar.
- Variación de los lixiviados en cantidad y calidad.

4. Estudio exhaustivo de los resultados de los análisis de lixiviados realizados periódicamente en todos los vertederos estudiados. Caracterización físico-química de los lixiviados.

5. Tratamiento de todos los datos obtenidos. Tras realizar un tratamiento "entrada-salida" o "causa-efecto" ("lluvia-caudal" en sentido hidrológico), se define la dinámica hidrológica de los vertederos en los que se dispone de datos suficientes de caudal. Tratamiento de los datos de caudal conjuntamente con los datos analíticos.

6. Conocida la dinámica de estos vertederos, se profundiza en el estudio de los métodos existentes para el cálculo, tanto de parámetros intermedios en el balance hídrico, como para la estimación final de la evolución del volumen de lixiviados.

7. Comparación de los resultados con los obtenidos por otros autores que han trabajado en esta temática en otros países.

8. Exposición de las conclusiones y recomendaciones para una mejor gestión de los vertederos controlados.

En cuanto a las limitaciones más importantes de esta investigación cabe mencionar las debidas a la escasez de datos, especialmente en lo referente a los caudales existentes en los momentos de muestreo de lixiviados (la inmensa mayoría de las muestras han sido recogidas por personal perteneciente a la Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia). La escasez de los datos de caudal impide extraer conclusiones más concisas a la hora de estudiar la evolución del quimismo de los lixiviados. La instalación de caudalímetros en las arquetas de control de todos los vertederos no ha sido posible tanto por problemas económicos como técnicos.

Tampoco se ha podido abordar la construcción de piezómetros en ninguno de los vertederos. Por ello, no se dispone de medidas de niveles piezométricos en vertederos, lo que hubiese dado más posibilidades a la hora de precisar los balances hídricos en los mismos.

1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La presente memoria está estructurada en 8 capítulos.

El presente capítulo 1 consiste en una somera introducción a la temática y contexto del estudio realizado.

En el capítulo 2 se resumen las características de los 8 vertederos estudiados, haciéndose especial hincapié tanto en las características del medio físico en el que se emplazan como en los aspectos específicos de cada uno de ellos (tipo de explotación y de residuos vertidos, extensión, capacidad, características técnicas, cantidades vertidas, etc.).

Los capítulos 3 y 4 se dedican por completo al tema de la generación de lixiviados en vertederos de R.S.U. En el primero de ellos (Balance hídrico en vertederos de R.S.U.), confeccionado en base a la información bibliográfica recopilada, se presentan los aspectos más importantes a considerar en la elaboración del balance hídrico en estos sistemas hidrológicos concretos, los problemas existentes y las soluciones que se están dando. En el segundo de ellos (Generación de lixiviados en los vertederos de R.S.U. estudiados) se presenta y se interpreta la totalidad de la información existente sobre caudales de lixiviados en los vertederos objeto de estudio (problemas surgidos, importancia del mantenimiento correcto de los aparatos de control, estudio detallado de los hidrogramas, relación de los caudales con la conductividad eléctrica y temperatura de los lixiviados en caso de que existan registros en continuo de estos parámetros, elaboración y modelización de los balances hídricos) y se compara con la previamente recopilada.

Los capítulos 5 y 6 se dedican, por su parte, a aspectos relacionados con la caracterización de los lixiviados. En el capítulo 5, confeccionado al igual que el 3 en base a la información bibliográfica recopilada, se describen las fases teóricas en la evolución de un vertedero, los factores que afectan a la composición de los lixiviados y se presenta abundantes datos especialmente sobre características físico-químicas generales de lixiviados y sobre sus evoluciones temporales. En el capítulo 6 se aborda, como su título indica, con detalle la "Caracterización físico-química de los lixiviados generados en los vertederos de R.S.U. estudiados", poniéndose de manifiesto las semejanzas y diferencias, en cuanto a quimismo se refiere, entre los lixiviados de los diferentes vertederos, y comparando esta información con la anteriormente recopilada.

En el capítulo 7 se exponen, de forma global, los principales resultados y conclusiones parciales y finales obtenidas durante el desarrollo de la investigación, a la vez que se hacen recomendaciones tendentes a una mejor gestión y a una mejora de la eficacia en el tratamiento de los R.S.U. en los vertederos controlados.

Por último, tras presentar la amplia relación de trabajos bibliográficos citados en el texto (capítulo 8), se presenta una serie de anexos en los que los lectores interesados pueden encontrar información específica (listados de programas informáticos utilizados, series de datos de partida y de resultados de análisis efectuados, determinaciones físico-químicas de lixiviados, matrices de correlación entre variables analizadas, etc.). En cualquier caso, toda la información tratada y los programas utilizados se pueden consultar en el Grupo de Hidrogeología (Dpto. de Geodinámica) de la U.P.V./E.H.U.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DE LOS VERTEDEROS DE R.S.U. ESTUDIADOS

2.1. Vertedero de Lapatx (Azpeitia) 2.2
2.1.1. Situación geográfica 2.2
2.1.2. Características del medio físico 2.2
2.1.2.1. Geología
2.1.2.2. Geomorfología
2.1.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.1.3. Características específicas 2.5
2.1.3.1. Historia, extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos
2.1.3.2. Características técnicas
2.1.3.3. Tipo de explotación y de residuos vertidos. Previsiones

2.2. Vertedero de San Marcos (Renteria) 2.7
2.2.1. Situación geográfica 2.7
2.2.2. Características del medio físico 2.7
2.2.2.1. Geología
2.2.2.2. Geomorfología
2.2.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.2.3. Características específicas 2.9
2.2.3.1. Historia, extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos
2.2.3.2. Características técnicas
2.2.3.3. Tipo de explotación y de residuos vertidos. Previsiones

2.3. Vertedero de Petritegi (Astigarraga) 2.13
2.3.1. Situación geográfica 2.13
2.3.2. Características del medio físico 2.13
2.3.2.1. Geología
2.3.2.2. Geomorfología
2.3.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.3.3. Características específicas 2.14
2.3.3.1. Historia, extensión, capacidad y municipios servidos
2.3.3.2. Características técnicas y de la clausura realizada
2.3.3.3. Tipo de explotación y de residuos vertidos. Situación actual

2.4. Vertedero de Ventas (Irun) 2.17
2.4.1. Situación geográfica 2.17
2.4.2. Características del medio físico 2.17
2.4.2.1. Geología
2.4.2.2. Geomorfología
2.4.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.4.3. Características específicas 2.19
2.4.3.1. Historia, extensión, capacidad y municipios servidos
2.4.3.2. Características técnicas y de la clausura realizada
2.4.3.3. Tipo de explotación. Situación actual

2.5. Vertedero de Urteta (Zarautz) 2.22
2.5.1. Situación geográfica 2.22
2.5.2. Características del medio físico 2.23
2.5.2.1. Geología
2.5.2.2. Geomorfología
2.5.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.5.3. Características específicas 2.24
2.5.5.1. Historia, extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos
2.5.5.2. Características técnicas
2.5.5.3. Tipo de explotación y de residuos vertidos. Previsiones

2.6. Vertedero de Sasieta (Beasain) 2.27
2.6.1. Situación geográfica 2.27
2.6.2. Características del medio físico 2.28
2.6.2.1. Geología
2.6.2.2. Geomorfología
2.6.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.6.3. Características específicas 2.28
2.6.3.1. Historia, extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos
2.6.3.2. Características técnicas
2.6.3.3. Tipo de explotación y de residuos vertidos. Previsiones

2.7. Vertedero de San Blas (Tolosa) 2.31
2.7.1. Situación geográfica 2.31
2.7.2. Características del medio físico 2.31
2.7.2.1. Geología
2.7.2.2. Geomorfología
2.7.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.7.3. Características específicas 2.32
2.7.3.1. Historia, extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos
2.7.3.2. Características técnicas
2.7.3.3. Tipo de explotación y de residuos vertidos. Previsiones

2.8. Vertedero de Góngora 2.36
2.8.1. Situación geográfica 2.36
2.8.2. Características del medio físico 2.36
2.8.2.1. Geología
2.8.2.2. Geomorfología
2.8.2.3. Hidrología e hidrogeología
2.8.3. Características específicas 2.37
2.8.3.1. Historia, extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos
2.8.3.2. Características técnicas
2.8.3.3. Tipo de explotación y de residuos vertidos

2.9. Climatología 2.38
2.9.1. Características climáticas generales de Gipuzkoa 2.38
2.9.2. Régimen pluviométrico en las áreas de los vertederos 2.40

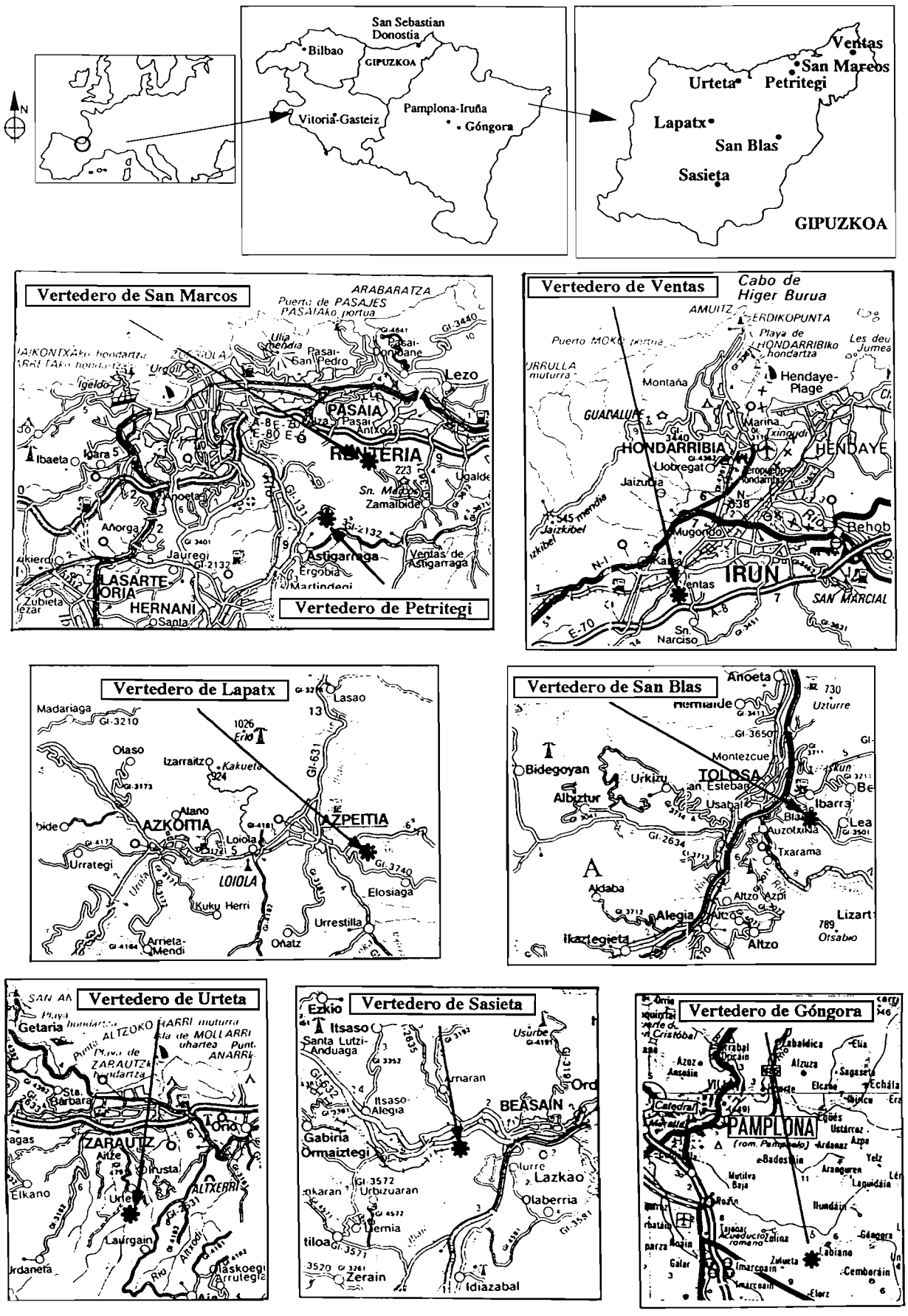


Figura 2.1. Situación geográfica de los vertederos de R.S.U. estudiados. Escala 1:150.000 salvo en la figura superior (sin escala) y en el mapa de Góngora (1:300.000).

2.1. VERTEDERO DE LAPATX (AZPEITIA)

2.1.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El vertedero de Lapatx se encuentra en el término municipal de Azpeitia, a una distancia aproximada de 4 km de dicha localidad (Figura 2.1). Para su ubicación se ha aprovechado un meandro del río Regil que fue individualizado mediante la realización de una corta. El acceso se realiza por la carretera comarcal GI-6324 que conduce de Azpeitia a Tolosa por Regil, tomando un desvío que conduce directamente a las instalaciones del vertedero tras atravesar el nuevo puente sobre el río Regil (Figura 2.2).

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.1.2.1. GEOLOGÍA

El área investigada se enmarca en el flanco N del sinclinorio vizcaíno, y más concretamente dentro del denominado Anticlinal-Falla de Azkoitia-Regil.

Prácticamente la totalidad de la superficie ocupada por el vertedero y la cuenca superficial que drena hacia él está constituida por materiales paleozoicos. Sólo una pequeña área está ocupada por materiales cuaternarios de origen aluvial, coluvial y antrópico (CINSA-GEOTHEKNIKA, 1985; Grupo de Hidrogeología, 1990).

Paleozoico: Se trata de un conjunto de materiales de origen mixto terrígeno-químico de edad Devónico superior-Carbonífero, constituido principalmente por argilitas calcáreas. Éstas se encuentran estratificadas en bancos finos, de 2 a 10 cm de espesor, y con una acusada esquistosidad que forma 30° con la estratificación general N110-150E. Presentan gran proporción de materia arcillosa, areniscosa fina y un contenido variable en CO_3Ca. Su color varía desde muy negro a gris oscuro. Este conjunto de materiales se encuentra intensamente fracturado y plegado.

Intercalados se encuentran niveles de areniscas de hasta 4-5 m de potencia y paquetes conglomeráticos con un espesor máximo observado de 4 m. Los cantos, de 1-3 cm de diámetro son de naturaleza diversa: sílice, margas, argilitas, etc., y presentan una clara orientación. Su continuidad lateral es escasa, acuñándose de manera brusca.

Cuaternario:

- Aluvial: Constituido por los depósitos asociados al río Regil. Se han diferenciado dos niveles de acumulación fluvial. El más moderno, con una potencia de hasta varios metros, ocupa el fondo del valle. Está constituido por gravas de naturaleza argilítica intercaladas en una matriz de color grisáceo, que hacia techo pasan a arcillas grises con algunos cantos dispersos.

El nivel de acumulación antiguo corresponde a una terraza dispuesta a 20-25 m sobre el nivel anterior. Está constituido por gravas y arcillas grises. Este depósito se encuentra bien representado en el sector E del área de estudio, en el que se observa un antiguo meandro del río Regil, hoy en día dispuesto a 20 m sobre el fondo de valle actual. Su potencia no ha podido ser precisada.

- Coluvial: Se trata de depósitos detríticos de carácter local, constituidos

fundamentalmente por cantos irregulares argilíticos y/o areniscosos incluidos en una matriz arcillosa. Su espesor no supera por lo general los 2 m.

Previamente a la construcción del vertedero y con vistas a evaluar la aptitud del emplazamiento, se realizó un estudio geológico de detalle (CINSA-GEOTHEKNIKA, 1985) en el que tras revisar la bibliografía y la cartografía geológica existente, se confeccionó la cartografía geológica a escala 1:5.000 de la zona del vertedero. El trabajo se completó con un estudio geofísico consistente en la realización de 12 sondeos eléctricos verticales (SEV) así como con la perforación de 2 sondeos mecánicos.

Tras estos trabajos, además de definir las características geológicas de los materiales aflorantes en la zona y que ya han sido citadas, se puso de manifiesto la existencia de un relleno y una alteración superficial en la zona del cauce del río Regil, zona sobre la que se ubicaría el vertedero. Como consecuencia de ello, recomendaron la excavación de los primeros metros de material hasta llegar al sustrato rocoso sano, así como la posterior impermeabilización artificial de dicha zona.

2.1.2.2. GEOMORFOLOGÍA

Hasta la construcción del vertedero no se tiene constancia de la existencia de desprendimientos naturales importantes. Sin embargo, tras las obras de construcción del mismo, en particular del canal perimetral que recoge las aguas superficiales de la cuenca adyacente, sí que se han producido algunos desprendimientos en los taludes creados. Estos desprendimientos, a pesar de tener escasa importancia, han llegado a anegar localmente, el canal perimetral.

El espesor de los suelos (inferior a 2 m) favorece el hecho de que los deslizamientos sean de escasa importancia. Por otra parte, las direcciones y buzamientos de la estratificación y pizarrosidad en relación con la orientación de la vertiente son favorables para asegurar la estabilidad de las rocas.

2.1.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La elevada pendiente topográfica existente en el área y la baja permeabilidad de las formaciones existentes en el área de estudio inciden de manera importante en la distribución del agua de precipitación eficaz, favoreciendo la escorrentía superficial en detrimento de la infiltración. No obstante, las dimensiones de la cuenca que drena hacia el vertedero (410.000 m^2) son reducidas. En consecuencia, los aportes relacionados con la escorrentía superficial no serán de elevada magnitud. Así, en el periodo en el que se desarrolló el estudio (Grupo de Hidrogeología, 1990), se observaron únicamente 4 pequeñas regatas cuyo aporte individual era en todos los casos inferior a 2 l/seg.

Previamente a la construcción del vertedero, y al mismo tiempo que el estudio geológico, se realizó el estudio hidrogeológico de la zona con vistas a evaluar el peligro de infiltración de lixiviados y la posible contaminación del subsuelo y de las aguas subterráneas.

Este estudio consistió en la realización de un inventario de puntos de agua y en la interpretación de la información procedente de los sondeos mecánicos e investigaciones geoeléctricas efectuadas en la zona.

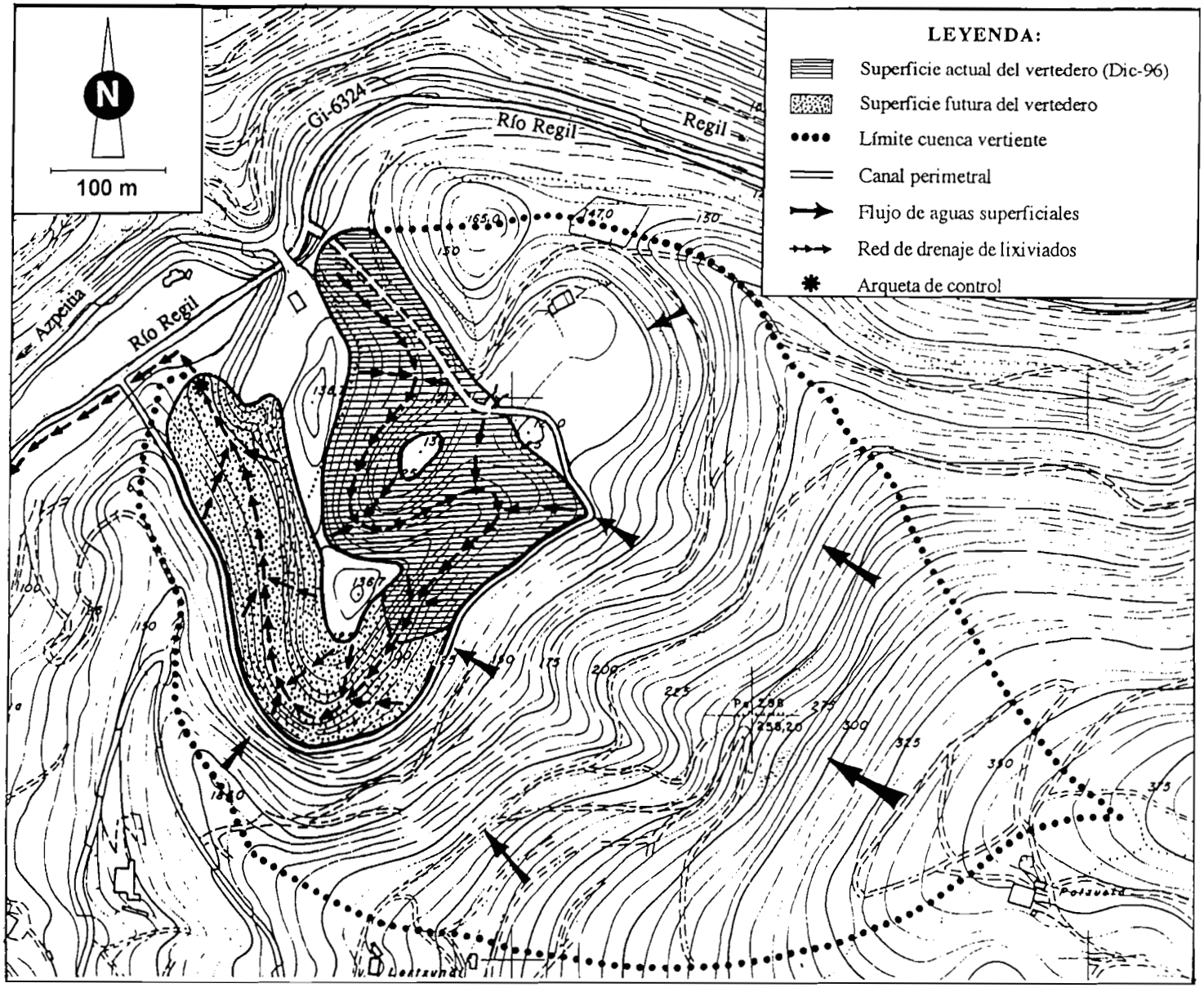


Figura 2.2. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Lapatx. Aspectos hidrológicos.

Fotos 2.1 y 2.2. Vistas aéreas del vertedero de R.S:U. de Lapatx. Arriba: situación en marzo de 1988. Abajo: situación en abril de 1995

En la cuenca superficial que drena hacia el vertedero se inventariaron pequeños manantiales, bien asociados a niveles de granulometría más gruesa, bien en zonas de coluvión o de alteración. Las salidas se realizan por lo general de forma difusa, por lo que se hace difícil estimar el caudal. No obstante, los aportes individuales durante el periodo de duración del estudio, se mantuvieron por debajo de 1 l/seg. La permeabilidad de estos materiales se puede considerar en conjunto como baja-media.

Por otra parte, la porosidad de los materiales paleozoicos cabe calificarla como de baja si bien se incrementa en los sectores más areniscosos, fracturados y/o alterados. Respecto a la permeabilidad de estos materiales, puede considerarse en su conjunto como de baja-media.

2.1.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.1.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD, VIDA ÚTIL Y MUNICIPIOS SERVIDOS

Este vertedero fue construido entre 1986 y 1987, vertiéndose los primeros residuos en Noviembre del segundo año. Su extensión superficial ronda las 92.000 m^2, siendo su capacidad de unos 970.000 m^3. Según las estimaciones iniciales, la vida útil del vertedero es de unos 20 años suponiendo unos vertidos de unos 41.000 tm/año (con una densidad media de 0,8 tm/m^3)

Hoy día ocupa una superficie de 50.000 m^2. La base de vertido se sitúa a una cota de 100 m estando previsto rellenar dicho meandro hasta una cota de 125 m.

Desde su inauguración da servicio a 7 municipios de la comarca del Urola (Aizarnazabal, Azkoitia, Azpeitia, Beizama, Bidegoian, Regil y Zestoa) con una población total ligeramente superior a los 29.000 habitantes. Es gestionado por la Mancomunidad del Urola Medio.

2.1.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Pese a la baja permeabilidad que en general presentan los materiales que afloran en el sector, durante la etapa de construcción del vertedero se procedió a la protección de las aguas subterráneas mediante la impermeabilización del fondo y paredes de la zona de vertido con una capa de arcilla compactada y semicompactada respectivamente.

Así mismo, el vertedero posee un sistema de recogida, conducción y canalización de las aguas superficiales de escorrentía, en forma de cunetas perimetrales paralelas a las cotas máximas de vertido (Figura 2.2). Las aguas así recogidas se vierten directamente al río Regil.

Por otra parte, el drenaje de los lixiviados generados en la masa de residuos del vertedero se realiza mediante un sistema que incluye un dren longitudinal principal y varios transversales a él (en forma de espina de pez) situadas sobre la capa de arcilla impermeable dispuesta en el fondo del vaso del vertedero.

Esta red de drenaje está protegida por una capa de bloques y gravas que favorece la filtración de los lixiviados al mismo tiempo que evita el contacto directo de los residuos con las zanjas de drenaje.

Dichas zanjas de drenaje vierten los lixiviados, en puntos concretos, a un colector de recogida de hormigón de 300 mm de diámetro de junta estanca que se dispone bajo la zanja principal. Este colector empalma posteriormente con el colector general de Azpeitia que lleva las aguas residuales hasta la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) de la Comarca del Urola Medio.

2.1.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN Y DE RESIDUOS VERTIDOS. PREVISIONES

Tipo de explotación

El proceso de vertido consta básicamente de las siguientes operaciones:

- Descarga y extensión de los residuos. Compactación de los residuos en capas de unos 30 cm con taludes no superiores a 30° por medio de máquinas compactadoras de cadenas específicas para estos trabajos.

- Extensión de una capa de tierras de cobertura primaria (escorias de fundición) de 15 cm como mínimo, al final de cada jornada de vertido y cubriendo todas las caras expuestas del relleno. El objetivo que se pretende es evitar que las moscas depositen sus huevos sobre material putrescible, que gusanos y roedores aniden, así como eliminar olores y dar al lugar un aspecto aceptable. Los materiales inertes, aptos para ser utilizados para cubrición se acopian en áreas preparadas al efecto.

- Repetición del proceso descrito hasta que la altura total del relleno llegue a 2,5 m, en cuyo caso se extiende sobre el relleno existente una nueva capa de escorias que sirve de sellado provisional hasta que se produzca un asiento del relleno tal que quede garantizada la estabilidad posterior de esa superficie.

- Los objetos grandes, tales como muebles o envases huecos, se depositan en la parte frontal del vertedero y se rompen o aplastan antes de cubrirlos con otros desechos, con el fin de evitar huecos que darían lugar a la acumulación de gases, favoreciendo la aparición de asentamientos irregulares. Los neumáticos se colocan planos en la base del vertedero rellenándolos y cubriéndolos posteriormente con las basuras.

- Una vez alcanzado el grado de asentamiento óptimo, se continúa el proceso de vertido como si la capa de sellado provisional fuera un nuevo lecho natural, y así sucesivamente hasta llegar a la altura máxima de relleno del vertedero, momento en el cual se procede a la extensión de la última capa de escorias de cobertera y sobre ella de otra de 30 cm de sellado definitivo (arcillas).

- La última operación a realizar tendría por objeto la recuperación paisajística del área utilizada (nivelación final de la capa de sellado definitivo, configuración final del perfil del terreno previsto en el proyecto de recuperación, colocación de una capa de tierra vegetal y posterior revegetación del área para preservarla de la erosión y darle el uso determinado)

Tipos de residuos vertidos. Previsiones.

Como se ha comentado anteriormente, la vida útil del vertedero se estimó en 20 años considerando unos vertidos anuales de unos 41.000 tm. En la Tabla 2.1, se observan las

cantidades vertidas desde la inauguración del vertedero. Como se ve, en los primeros años se vertieron cantidades muy superiores a las esperadas, especialmente de tierras y escombros. Sin embargo, a partir de 1991 se han vertido cantidades similares e incluso inferiores a las esperadas por lo que cabe esperar que el vertedero siga funcionando durante más años que los previstos. A destacar es el hecho de las relativamente importantes cantidades que se vierten de lodos de la EDAR de la Comarca del Urola Medio, unas 1.800 tm/año como media en los últimos 3 años, que además de incidir en los volúmenes de lixiviados que se generarán dada su alto contenido en humedad (65-80%), ocasionan algunos problemas durante la explotación del vertedero (dificulta las labores de extensión y compactación del resto de residuos, asentamientos con el tiempo en las área en las que se han vertido debido a la pérdida de gran parte la humedad por efecto de la compactación,..).

Según el "Plan Integral de R.S.U. de Gipuzkoa 1996-2020", este vertedero estará en funcionamiento como mínimo hasta el año 2015, existiendo la posibilidad de prorrogar su funcionamiento. Para ello, se tiene previsto invertir del orden de 570 millones de pesetas en mejoras de las instalaciones. El radio de acción del mismo se extenderá a las comarcas de Urola medio, Bajo Deba y Urola Kosta una vez clausurado el vertedero de Urteta en el año 2004.

LAPATX	Domésticos (R.S.U.)	Voluminosos Urbanos	Escombros Tierras, lodos	Derribos	Escorias	Voluminosos Industriales	Pasta hormigón y similares	TOTAL (tm)
1988	8.352 (8,9 %)	471 (0,5 %)	69.817 (74,3 %)	28 (0,03 %)	13.633 (14,5 %)	669 (0,7 %)	1.050 (1,1 %)	94.019
1989	13.560 (17,7 %)	716 (0,9 %)	41.786 (54,5 %)	1.287 (1,7 %)	16.191 (21,1 %)	1.514 (2 %)	1.612 (2,1 %)	76.666
1990	15.665 (15,5 %)	815 (0,8 %)	64.301 (63,7 %)	356 (0,3 %)	17.061 (16,9 %)	1.769 (1,7 %)	990 (1 %)	100.957
1991	11.500 (21,6 %)	829 (1,6 %)	22.906 (43,1 %)	1.112 (2,1 %)	13.778 (25,9 %)	1.745 (3,3 %)	1.239 (2,3 %)	53.108
1992	9.611 (25,8 %)	787 (2,1 %)	12.655 (33,9 %)	106 (0,3 %)	10.868 (29,1 %)	2.102 (5,6 %)	1.161 (3,1 %)	37.290
1993	9.697 (31,6 %)	607 (2 %)	4.261 (13,9 %)	-	12.743 (41,5 %)	2.477 (8,1 %)	912 (3 %)	30.697
1994	9.934 (27,3 %)	494 (1,4 %)	7.702 (21,2 %)	-	14.260 (39,2 %)	3.833 (10,5 %)	135 (0,4 %)	36.360
1995	9.378 (26.27%)	443 (1,24%)	8.791 (24,63%)	-	11.788 (33,02%)	5.298 (14,98%)	-	35.699

Tabla 2.1. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Lapatx.

2.2. VERTEDERO DE SAN MARCOS (RENTERIA)

2.2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El vertedero de San Marcos se dispone sobre un estrecho valle que desciende desde cota 140 m hasta cota 50 m situado en las proximidades del monte San Marcos, en el límite de los términos municipales de Donostia-San Sebastián y Renteria (Figura 2.1 y Figura 2.3). Se encuentra a una distancia aproximada de 3 kilómetros de la localidad de Renteria y su acceso se realiza por la pista que une Renteria con el Fuerte de San Marcos tomando un desvío a mano derecha.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.2.2.1. GEOLOGÍA

Desde un punto de vista regional, el área en que se encuentra el vertedero constituye la orla de materiales mesozoicos que bordean el macizo paleozoico de Cinco Villas.

Se distinguen en el área ocupada por el vertedero y cuenca superficial que drena hacia él las 4 formaciones siguientes (Grupo de Hidrogeología, 1990):

Aptiense-Albiense inferior: Aflora en la zona SE, en el límite de la cuenca superficial que drena hacia el vertedero. Se trata de un olistolito de calizas urgonianas, incluido en materiales detríticos del Albiense superior. Está constituido por calizas masivas y homogéneas de color gris y en ocasiones con tonalidades rosáceas muy ricas en lamelibranquios.

Albiense superior detrítico: Se trata de un conjunto de materiales pertenecientes al Complejo Supraurgoniano. La serie está compuesta por una sucesión de limolitas y areniscas silíceas bien estratificadas, que contienen ocasionalmente niveles de conglomerados y microconglomerados cuarcíticos con cantos bien redondeados. Las areniscas se presentan en bancos de espesor centimétrico a decimétrico, pudiéndose observar en ocasiones una granoclasificación decreciente de muro a techo. En cuanto a las limolitas, su aspecto es masivo, de color gris en estado inalterado. No obstante, frecuentemente se encuentran intensamente alteradas, ofreciendo tonalidades amarillentas. El vertedero queda enclavado dentro de esta serie detrítica.

Albiense superior carbonatado: El conjunto anterior pasa lateralmente a una serie de materiales carbonatados constituidos por calizas bioclásticas homogéneas, con estratificación poco patente y con colores variables, desde gris claro hasta rojizo. Aflora en el sector S del área de estudio. Este conjunto cretácico se encuentra plegado según directrices N120-N150E.

Cuaternario: Constituido por depósitos coluviales, en relación con las elevadas pendientes existentes en la zona. Caracterizado por la existencia de cantos areniscosos de contornos irregulares incluidos en una matriz arcillosa. Se encuentran representados fundamentalmente en el sector SE del área de estudio, alcanzando en ocasiones un espesor superior a los 2 m.

En cuanto a la estructura, el vertedero queda enclavado en un suave sinclinal de dirección aproximada N130E, con buzamientos de los materiales comprendidos entre los 15 y 40°.

2.2.2.2. GEOMORFOLOGÍA

La litología de los materiales aflorantes, fundamentalmente limolítico-areniscosos, ha dado lugar a lomas suaves, sin pendientes elevadas en la mayor parte de los casos.

Se ha reconocido la existencia de varios pequeños deslizamientos, fundamentalmente en ladera SW de la cuenca superficial que drena hacia el vertedero, ya que esta zona está caracterizada por un intensa alteración de los materiales limolíticos del Albiense superior. El desarrollo de alguno de estos deslizamientos se vio favorecido por el corte efectuado en dicha ladera para la realización del canal perimetral.

2.2.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La baja permeabilidad de la formación detrítica supraurgoniana favorece la escorrentía superficial en detrimento de la infiltración. En la cuenca superficial (310.000 m^2) existen dos regatas principales. Una de ellas, situada al S, permanece seca la mayor parte del tiempo. En la otra, dispuesta al N, la cual drena un sector en el que abundan depósitos coluviales se han observado caudales medios de 0,5 l/seg.

Respecto al comportamiento hidrogeológico de los materiales, la consultora IKERLUR (1990) realizó 2 sondeos mecánicos de reconocimiento del subsuelo en las zonas destinadas a la ampliación del vertedero. En uno de ellos, llevaron a cabo un ensayo de permeabilidad tipo Lugeon en el tramo comprendido entre 3 y 10 metros de profundidad. De la interpretación de dicho ensayo se deducía que la permeabilidad en dicho tramo (limolitas) es muy baja, del orden de 3 unidades Lugeon, lo que corroboraba las hipótesis supuestas previamente sobre el escaso peligro de infiltración de los lixiviados en el subsuelo.

Los conglomerados y microconglomerados, sin embargo, se pueden considerar de permeabilidad media-baja.

En los materiales coluviales que en ocasiones tapizan las laderas de la cuenca fueron inventariados 3 pequeños manantiales de funcionamiento intermitente.

2.2.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.2.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD, VIDA ÚTIL Y MUNICIPIOS SERVIDOS

Historia

El vertedero de San Marcos empezó a recibir los R.S.U. e importantes volúmenes producidos en los municipios de Renteria, Pasaia, Lezo y Oiartzun en 1972. En un principio, los residuos se incineraban en 6 hornos situados en la parte más alta del vertedero, junto a la pista de acceso. Las escorias producidas, junto con los elementos incombustibles, se vertían en los terrenos contiguos a los hornos.

Debido a la elevada contaminación atmosférica producida por estos hornos, en 1987 tuvieron que ser clausurados, iniciándose el vertido de los residuos sobre las escorias antes citadas. A principio de 1988, tras la clausura del vertedero de Petritegi, la ciudad de Donostia-San Sebastián también vertió sus residuos de forma semicontrolada durante varios meses. En Abril de este año se instala la báscula que venía funcionando con anterioridad en Petritegi, válida para pesadas inferiores a 30 tm.

A fin de paliar el grave problema creado, entre los meses de Julio y Octubre de 1988 se llevaron a cabo obras urgentes de acondicionamiento y ampliación del vertedero: la zona de vertido previa fue cubierta de tierra y acondicionada, se abrió un nuevo acceso al pie del talud existente donde se creó una nueva zona de vertido, se creó un lecho drenante para captar los lixiviados y se procedió a la apertura de una cuneta de recogida de pluviales en la margen izquierda.

Posteriormente, durante 1989 se completaron las obras iniciadas: se acometieron las obras de evacuación de aguas pluviales de la cuenca, la recogida y conducción de los lixiviados hasta la regata Molinao, la construcción de una escollera de estabilización de la masa de residuos, la clausura y revegetación del antiguo frente, el cerramiento perimetral y la construcción del edificio de servicios y lavadero de camiones. De esta forma se consigue el objetivo de disponer de unas instalaciones con todas la infraestructuras propias de un vertedero estrictamente controlado. Sobre esta zona ampliada se sigue vertiendo en la actualidad.

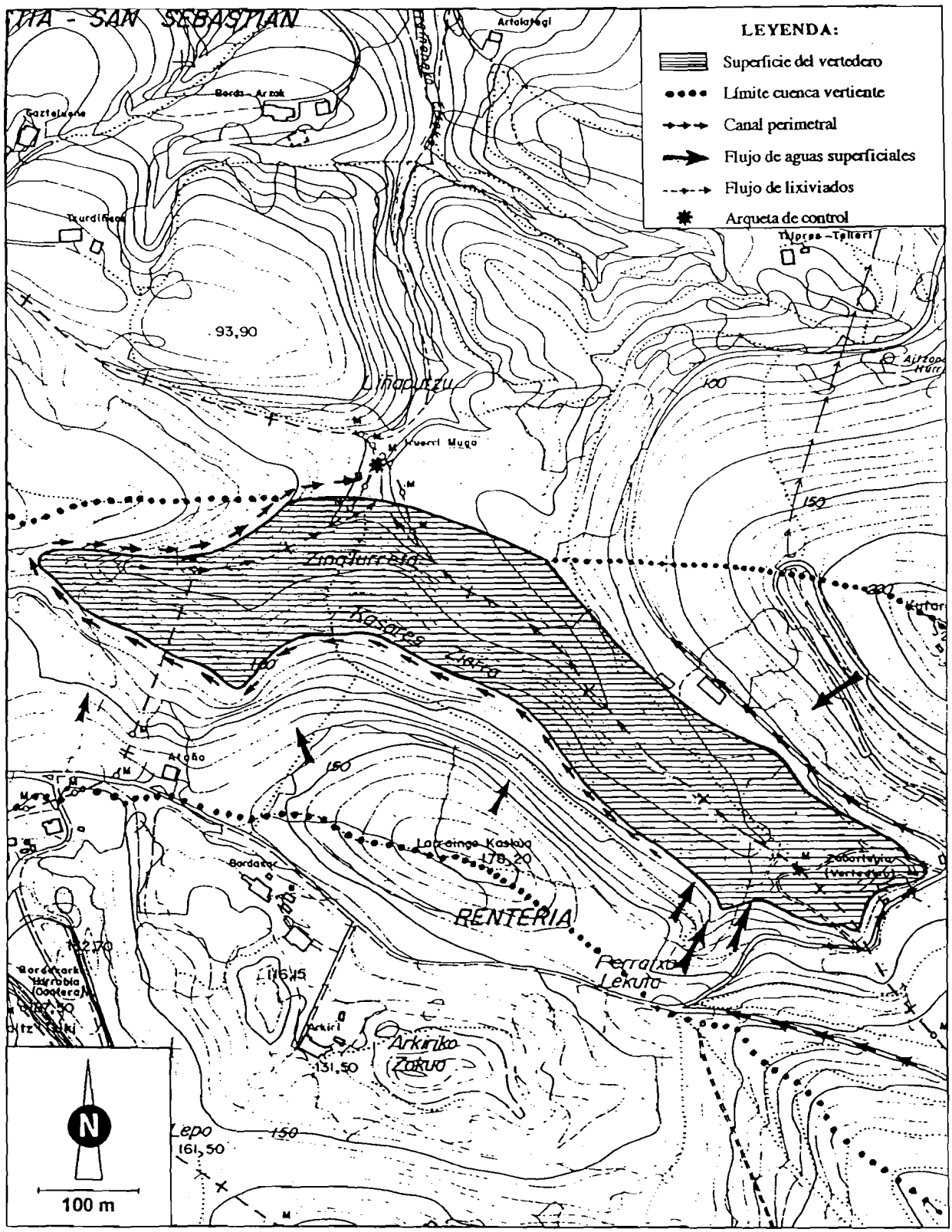


Figura 2.3. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de San Marcos. Aspectos hidrológicos.

Fotos 2.3 y 2.4. Vistas aéreas del vertedero de R.S:U. de San Marcos (febrero de 1995)

En años posteriores (entre 1991 y 1992), al aumentar considerablemente las cantidades vertidas por la aportación de residuos inertes, fue necesario acometer una nueva fase de ampliación del vertedero. Para ello, se realizan obras que comprenden el viario preciso para acceder a las nuevas áreas de explotación, la captación y desvío de aguas de escorrentía y surgencias, el drenaje de los futuros lixiviados y las obras de conexión al colector general, así como la construcción de los pies de apoyo del talud de vertidos.

En Noviembre de 1994 se instala una nueva báscula, válida para pesadas de hasta 60 tm, lo que permite controlar la carga de camiones con tierras destinadas a cubrición de peso superior a 30 tm y que antes no podían pesarse.

Por otra parte, en Enero de 1995 se dieron por finalizado las obras de mejora de la clausura del vertedero antiguo procediéndose al mismo tiempo al aprovechamiento energético del gas generado en la masa de vertido.

Extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos

La extensión del vertedero se aproxima a los 130.000 m^2, siendo su capacidad de unos 3.500.000 m^3. Según los cálculos teóricos iniciales (ECOLÓGICA-KEMEN, 1991), suponiendo unos vertidos anuales aproximados de 300 tm/día y unas densidades de 0,5 tm/m^3 una vez compactados los residuos, estiman la vida útil del vertedero en unos 12 años (a partir de 1991). Estos cálculos no pueden se tenidos en cuenta ya que las cantidades que se vienen vertiendo en los últimos años rondan los 190.000 tm/año (unos 520 tm/día) y, por otra parte, cabe considerar como baja la densidad de 0,5 tm/m^3 utilizada para los cálculos (normalmente se considera que la densidad de los residuos compactados en este tipo de vertederos ronda el valor de 0,8-1 tm/m^3). Considerando unos vertidos de 520 tm/día y una densidad de 1 tm/m^3 la vida útil de vertedero rondaría los 18 años.

En la actualidad, este vertedero presta servicio a 13 municipios (Astigarraga, Donostia, Hondarribia, Hernani, Irun, Lasarte, Lezo, Oiartzun, Pasaia, Renteria, Urnieta, Usurbil y Zizurkil) que cuentan en total con más de 360.000 habitantes, de los cuales, casi la mitad lo son de Donostia-San Sebastián, con más de 171.000 habitantes. Es gestionado por la Mancomunidad de San Marcos.

Los municipios de Irun y Hondarribia (unos 66.000 hab.) empezaron a verter en San Marcos en Enero de 1993, tras procederse a la clausura definitiva del vertedero de Ventas (Irun), mientras que los de Andoain y Aduna (15.000 hab. en conjunto) dejaron de hacerlo en Mayo de 1994 para pasar a hacerlo en el vertedero de San Blas (Tolosa).

2.2.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El sistema de drenaje de aguas superficiales consta de un canal perimetral que en la zona más alta del vertedero coincide con las cunetas de las pistas que lo rodean. Este canal perimetral no rodea por completo al vertedero (Figura 2.3) por lo que parte de las aguas de escorrentía superficial fluyen libremente por el mismo. Las aguas de escorrentía que recoge el canal perimetral son canalizadas hasta la regata existente aguas abajo del cierre del vertedero.

Por otra parte, la red de drenaje de lixiviados está formada a base de zanjas de sección de 2,5 m·1,5 m excavadas en el fondo de las vaguadas que forman el vertedero y rellenas de material granular clasificado de diámetro comprendido entre los 30 y 70 mm, limpio y sin restos de limo ni arcillas.

Estas zanjas, en las etapas previas al vertido de residuos, funcionan como conductos de aguas de escorrentía y por ello se establecen entradas a las arquetas de las conducciones que, discurriendo paralelas a las regatas y alojadas en zanjas independientes, conducen estas aguas al regata principal fuera ya de la zona del vertedero.

Las zanjas están revestidas con lámina impermeabilizante de PVC tratadas con negro de humo para facilitar el flujo del líquido y quedan recubiertas con un manto de geotextil que hace las veces de filtro para evitar la colmatación y de protección contra cargas puntuales sobre el drenaje. Por último, sobre el geotextil se dispone una capa de grava que favorece la infiltración de los lixiviados.

Dada la muy baja permeabilidad de los terrenos sobre los que se asienta el vertedero, no se consideró necesario la realización de impermeabilizaciones añadidas.

Por otra parte, en la parte inferior del vertedero existe una escollera "de pie" que estabiliza el talud del vertedero, impermeabiliza el frente (mediante un relleno de hormigón especial colocado en el trasdós de la escollera) e intercepta la corriente de lixiviados producida, favorecida por la existencia de las zanjas ya comentadas. Estos lixiviados los recoge mediante una arqueta de registro de paredes huecas que comunica con la arqueta de toma de muestra y aforos mediante una tubería de 400 mm de diámetro. Posteriormente, estas aguas son conducidas hasta el barrio de Molinao donde se vierten directamente a la regata del mismo nombre, que vierte poco después sus aguas al puerto de Pasajes. En fechas próximas, se tiene proyectado verter estos lixiviados a los colectores de saneamiento de la zona que los llevarán a la futura EDAR de Donostia.

2.2.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN Y DE RESIDUOS VERTIDOS. PREVISIONES

El proceso de vertido es en líneas generales el mismo que en el vertedero de Lapatx. Como material de cubrición utilizan normalmente tierra arcillosa de las inmediaciones así como residuos inertes. Para la compactación utilizan 2 máquinas compactadoras, disponiendo de otra de repuesto.

En la Tabla 2.2 se muestran las cantidades y los tipos de los residuos vertidos desde 1989, año en el que ya están incluidos los residuos producidos por Donostia-San Sebastián. En esta tabla no se incluyen los rechazos de cantera que utilizan para consolidar las pistas de acceso a las zonas de vertido. En la Tabla 2.3 también se muestra la composición media de los R.S.U. vertidos en este vertedero (EIN, 1993).

Según el "Plan Integral de R.S.U. de Gipuzkoa 1996-2020", este vertedero estará en funcionamiento como mínimo hasta el año 2010, existiendo la posibilidad de prorrogar su funcionamiento. Para ello, se tiene previsto invertir del orden de 1.020 millones de pesetas en mejoras de las instalaciones y en ampliaciones. Este vertedero seguirá recibiendo los R.S.U. generados en Donostialdea y en la comarca del Bidasoa.

SAN MARCOS	R.S.U.	Industrial Inerte	TOTAL (tm)
1988(*)	22.000 (62,7 %)	10.000 (37,3 %)	32.000
1989	89.000 (68,4 %)	41.000 (31,6 %)	130.000
1990	98.000 (67,6 %)	47.000 (32,4 %)	145.000
1991	100.000 (62,5 %)	60.000 (37,5 %)	160.000
1992	122.000 (74,0 %)	43.000 (26,0 %)	165.000
1993	147.500 (77,6 %)	42.500 (22,4 %)	190.000
1994	148.430 (77,8 %)	42.302 (22,2 %)	190.732
1995	141.508 (83,2 %)	28.624 (16,8 %)	170.132
1996	145.947 (69,4 %)	64.265 (30,6 %)	210.212

(*) desde Abril

Tabla 2.2. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de San Marcos.

GRUPO	COMPONENTE	media ponderada (%)
INERTES	Metales	2,53
	Vidrio	7,75
	Tierras y cenizas	4,79
	Total inertes	15,07
COMBUSTIBLES	Celulósicos	27,89
	Plásticos	8,73
	Maderas y serín	1,19
	Textil	3,04
	Gomas, cueros y otros	0,74
	Total combustibles	41,59
ORGANICOS	Materia orgánica	38,56
ESPECIALES	Químicos, pilas, fármacos	1,33
VOLUMINOSOS	Muebles, electrodomésticos etc.	3,45
TOTAL		100

Tabla 2.3. Composición media de los R.S.U. generados en la Mancomunidad de San Marcos.

2.3. VERTEDERO DE PETRITEGI

2.3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Este vertedero clausurado se encuentra en el término municipal de Astigarraga, escasamente a 1 km del núcleo de población, en el denominado barrio de Petritegi (Figura 2.1 y Figura 2.4). Se accede a él tomando un desvío existente a las afueras del pueblo que lleva al barrio antes citado desde la carretera comarcal Donostia/San Sebastián-Hernani (dirección Donostia/San Sebastián). Este mismo camino, que se encuentra totalmente asfaltado, conduce también a la Estación de Tratamiento de Aguas Potables de la Mancomunidad del Añarbe.

2.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.3.2.1. GEOLOGÍA

En la zona ocupada por el vertedero y por su cuenca vertiente, únicamente afloran materiales pertenecientes al Trías en facies Keuper. Dentro de éstos se diferencian dos términos cartográficos:

Arcillas abigarradas y yesos. Formada por arcillas de colores rojizos, verdosos y ocres, que incluyen delgados niveles de limolitas micáceas versicolores y margas. En ocasiones

intercala niveles de evaporitas, sobre todo yesos. Las arcillas presentan su típica característica plástica.

Rocas ofíticas. Rocas básicas subvolcánicas, con textura ofítica, en forma de masas con tamaños variables incluidas dentro de las arcillas abigarradas antes mencionadas . Poseen un color verde oscuro en fractura fresca y una alteración rojizo-amarillenta, debido a su elevado contenido en minerales ferromagnesianos. En corte fresco, aparecen como de grano variable, con aspecto masivo y con una fracturación relativamente importante. Generalmente aparecen muy alteradas.

No se aprecia la disposición original respecto de la estratificación, debido a los movimientos halocinéticos de las masas plásticas encajantes.

2.3.2.2. GEOMORFOLOGÍA

El vertedero se sitúa sobre una vaguada de pendientes medias en la que los suelos, de escasa potencia, son de tipo coluvión normalmente. Las inestabilidades que pueden producirse no son en ningún caso importantes.

2.3.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Los materiales sobre los que se asienta el vertedero son en general de baja permeabilidad (arcillas sobre todo). La escorrentía superficial prevalece netamente sobre la infiltración, no existiendo en las inmediaciones ningún manantial digno de mención. Por otra parte, la poca extensión de la cuenca vertiente limita en gran medida la existencia de cursos de agua.

2.3.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.3.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD Y MUNICIPIOS SERVIDOS

Historia

El vertedero de Petritegi ha sido el emplazamiento donde los municipios de Donostia/San Sebastián y Astigarraga (inicialmente este último municipio estaba incluido en el primero) han vertido gran parte de sus residuos urbanos al menos desde la década de los cincuenta.

Inicialmente, el vertido se realizó directamente sobre la vaguada, sin disponer de ningún tipo de infraestructura y medios que garantizaran unas mínimas condiciones higiénicas. Durante los primeros años se realizaba un cierto aprovechamiento de parte de los residuos vertidos. Según vecinos del barrio donde se sitúa el vertedero, se llevaba a cabo una separación manual al menos de trapos y metales, que eran posteriormente compactados mediante prensas manuales para ser vendidos finalmente. Así mismo, en el mismo vertedero se criaban gran cantidad de cerdos (unos 100 según una persona entrevistada) gracias a las importantes cantidades de residuos orgánicos existentes. La extensión en el tiempo de estas actividades no ha podido ser concretada.

A principios de los años ochenta, y como consecuencia de los problemas medioambientales provocados, se realizaron diversas obras de mejora, realizándose a partir de entonces el vertido de forma semicontrolada.

En Febrero-Marzo de 1988 se deja de verter residuos en este vertedero, pasándolo a hacer en el de San Marcos. Hasta 1992 no se inicia la clausura definitiva del vertedero que se hace conforme al estudio "Informe y proyecto de clausura, sellado y restauración del vertedero de Petritegi" (Iglesias, 1992).

Extensión, capacidad y municipios servidos.

La extensión total del área de vertido es aproximadamente de unos 53.000 m^2 y se sitúa entre las cotas 83 y 35 m. No existen datos referentes al volumen de residuos vertidos en el vertedero debido al nulo control realizado sobre esta materia. Como ya se ha comentado, los únicos municipios que vertían en este vertedero eran los de Donostia/San Sebastián (171.400 hab.) y Astigarraga (3.200 hab.) con la particularidad de que al menos durante las décadas de los cincuenta y sesenta también vertían parte de sus residuos en dos vertederos situados en Ergobia y Aiete.

2.3.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DE LA CLAUSURA REALIZADA

Durante el tiempo que la instalación funcionó como vertedero controlado las aguas que la cuenca aportaba en dirección al vertedero eran desviadas mediante cunetas perimetral coincidentes en gran parte con las de la pista de acceso (Figura 2.4).

Las entradas de aguas al vertedero se producían fundamentalmente por la infiltración eficaz de la lluvia caída directamente sobre su superficie. Las salidas de lixiviado se producían de manera difusa en las terrazas situadas a diferentes cotas en el frente del vertedero y se concentran en el punto más bajo del mismo, desde donde eran conducidos directamente a la regata cercana.

Características de la clausura realizada

Dentro de las obras realizadas para la clausura definitiva de este vertedero pueden citarse:

- La captación y desvío de las aguas de escorrentía superficial mediante la construcción de nuevas cunetas perimetrales.

- El drenaje de los lixiviados, que una vez recogidos en una arqueta ubicada en el pie del vertedero, son conducidos a la red general de saneamiento municipal.

- Instalación de antorchas para permitir la salida de los gases producidos en el interior de la masa de residuos.

- Sellado de la superficie del vertedero:

La capa de sellado está constituida por una capa de arcillas de 0,5 m de espesor en toda la superficie afectada por los vertidos. La arcilla se depositó en capas de 25 cm siendo compactada suficientemente. Sobre ella, se dispuso una capa de 1 m de espesor de tierras, siendo los últimos 30 cm. de mayor calidad dado que es la que sirve para el asentamiento de la vegetación. Esta está constituida fundamentalmente por especies gramíneas y leguminosas autóctonas.

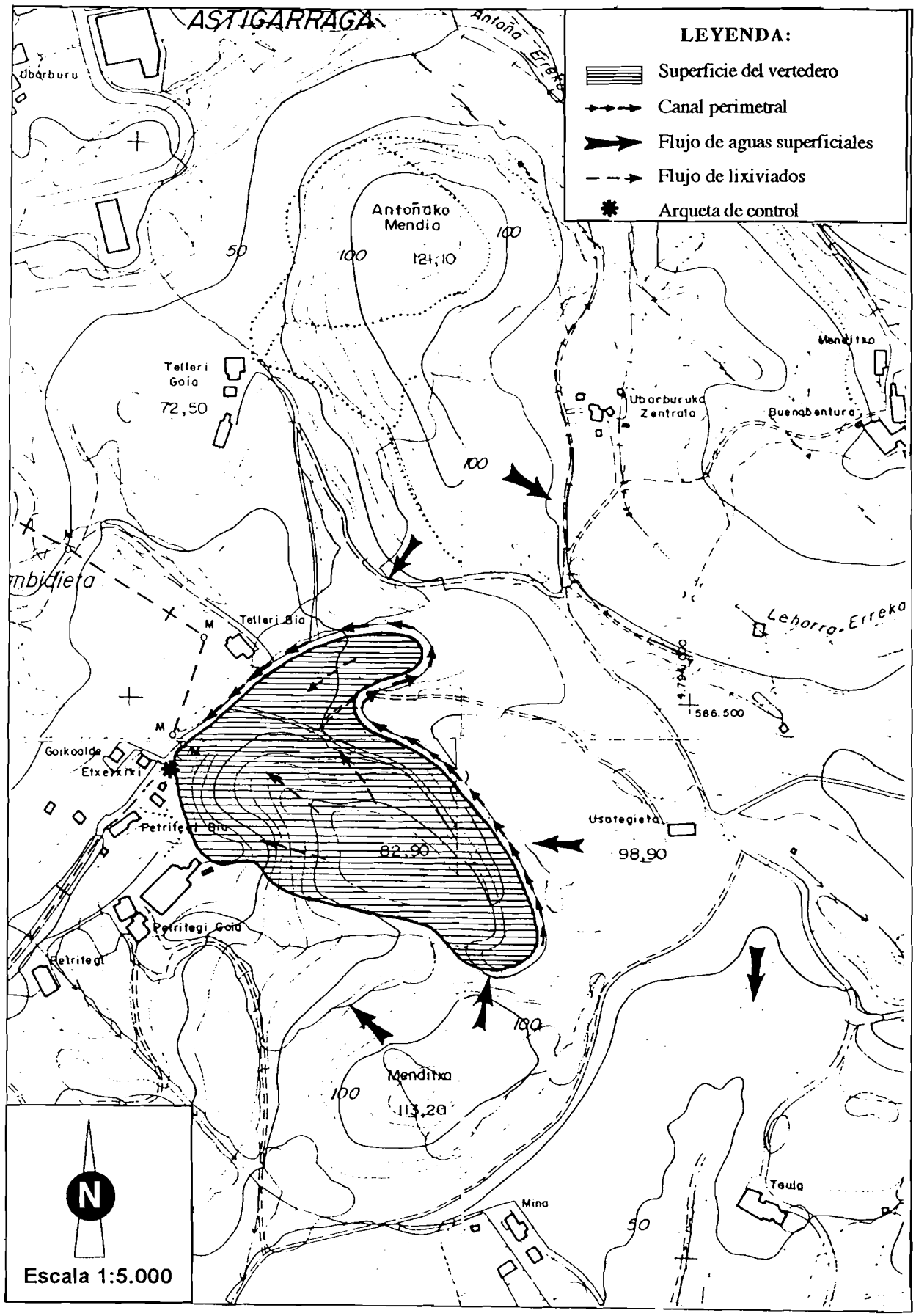


Figura 2.4. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Petritegi. Aspectos hidrológicos.

Fotos 2.5 y 2.6. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Petritegi. Arriba: situación en 1998, antes de su clausura. Abajo: situación en abril de 1995.

2.3.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN Y DE RESIDUOS VERTIDOS. SITUACIÓN ACTUAL

Como ya se ha comentado en el apartado 2.3.3.1, el tipo de explotación sufrió variaciones a lo largo de la historia del vertedero, pasando de una explotación incontrolada en los primeros años a una controlada con algunos matices en los últimos años de actividad del mismo. En este último periodo, el sistema de vertido era similar al descrito para el resto de vertederos descritos anteriormente.

Tampoco existen datos referentes a tipos y cantidades de residuos vertidos en el vertedero debido a la ya mencionada ausencia de control. Únicamente conocemos las cantidades medias generadas en los últimos años por los dos municipios que vertían en Petritegi, Donostia/San Sebastián (171.400 hab.) y Astigarraga (3.200 hab.), y que ascienden a unas 76.400 y 1.100 tm/año respectivamente. La estimación de las cantidades depositadas es además muy complicada al no haber vertido estos municipios sus basuras únicamente en este vertedero.

En la actualidad el vertedero se encuentra totalmente abandonado. Tras la clausura del mismo no se han realizado labores de mantenimiento aparentes por lo que la vegetación ha colonizado prácticamente la totalidad de la superficie. Los abundantes árboles de porte considerable, los arbustos, zarzas y matorrales impiden prácticamente el paso por el vertedero. En algunas zonas puede observarse pequeñas acumulaciones de lixiviados sin que se haya reconocido en ningún momento olor a gas metano.

2.4. VERTEDERO DE VENTAS (IRUN)

2.4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El vertedero municipal de Ventas se encuentra situado a unos 4 km de la localidad de Irun, dentro del término municipal del mismo nombre (Figura 2.1). Para la ubicación de este vertedero se aprovechó una pequeña vaguada que fue rellenada prácticamente en su totalidad (Figura 2.5). Se puede accederse a él por dos caminos, ambos desde el barrio de Ventas de Irun.

- Por la carretera comarcal hacia Oiartzun, tomando un desvío a la izquierda que cruza bajo la autopista Bilbao-Behobia.

- Tomando el camino que pasando por el antiguo cuartel Ventas de Irun, sigue por encima de la autopista Bilbao-Behobia hacia las Minas de S. Narciso.

2.4.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.4.2.1. GEOLOGÍA

El área ocupada por el vertedero y por su cuenca vertiente, se encuentra situada en las inmediaciones del macizo granítico de Peñas de Aia, con lo que ello implica de complejidad tectónica y petrológica.

Más concretamente se sitúa en el flanco N del anticlinal cuyo eje, de dirección aproximada SW-NE, pasa por el lugar conocido como Minas S. Narciso, explotación minera actualmente abandonada.

Se trata de materiales paleozoicos (Devónico superior-Carbonífero) plegados durante el emplazamiento del plutón de Aia y sobre los que descansan, de manera discordante materiales detríticos de edad Albiense seguidos por una formación carbonatada algo más joven, del Cretácico superior.

Paleozoico: Constituye el núcleo del anticlinal de S. Narciso. Se trata de esquistos y niveles detríticos alternantes, de aspecto flyschoide, de edad Devónico Superior-Carbonífero. Los esquistos presentan una esquistosidad muy penetrativa, resultado de la intensa deformación sufrida. Los niveles detríticos están constituidos por grauwackas, cuarcitas y paquetes de conglomerados de 8 a 10 m de espesor, que presentan cantos deformados y estirados en el sentido de la esquistosidad. Estos materiales paleozoicos presentan escasos fósiles.

Albiense: Constituido por areniscas, limos y arcillas. No presentan fósiles. La sucesión de materiales comienza con niveles de limos y arcillas de colores amarillos y rojos con lechos finos de arcilla carbonosa. La serie prosigue con una secuencia rítmica de conglomerados y areniscas que a techo pasan a limos y arcillas con niveles de carbón.

Cretácico superior: Está formado fundamentalmente por calizas, margocalizas y calizas arenosas que se encuentran muy replegadas. Pueden distinguirse dos tramos:

- El inferior, de aspecto flyschoide, presenta una alternancia de calizas, margas, lutitas calcáreas y areniscas en estratos de menos de 30 cm, con una potencia total de unos 800 m. Hacia techo las calizas se hacen más arenosas, a la vez que aumenta la proporción de margas. Son de edad Cenomaniense-Campaniense.

- El tramo superior, de edad Maestrichtiense, y con una potencia entre 75 y 100 m, está constituido principalmente por calizas y margocalizas. El muro es de carácter muy margoso, presentando una alternancia de margas y calizas arcillosas rojas, verdes y grises. Hacia el techo aparece un paquete calizo de 25-30 m de potencia, bien estratificado en bancos de unos 25 cm, de colores rojizos.

Estructuralmente, se trata de una zona muy compleja debido tanto a la deformación y metamorfismo sufridos durante el emplazamiento del granito de Aia, como a esfuerzos posteriores al depósito de los materiales cretácicos, que originaron fracturas de dirección N-S.

Las direcciones que presenta todo el conjunto de materiales se mantienen aproximadamente entre N75E y N90E en la práctica totalidad del área estudiada, con buzamientos entre 40° y 60° al N.

2.4.2.2. GEOMORFOLOGÍA

La escasa potencia de los suelos existentes en el sector estudiado, hace poco probable que se produzcan deslizamientos en la zona. No obstante, se ha constatado la presencia de materiales coluviales en determinadas laderas de pendiente pronunciada, aunque de escasa potencia, en torno a 2-2,5 m.

2.4.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La cuenca drenante en la que se incluye el área sobre la que se asienta el vertedero, ocupa una superficie de unos 120.000 m^2, siendo la del vertedero de unos 45.000 m^2.

Las inmediaciones del vertedero se hallan protegidos por una abundante vegetación, que absorbe la mayor parte del agua que la cuenca recibe en forma de lluvia.

No se ha observado en el área de la cuenca estudiada ningún curso de agua superficial permanente. Sólamente en época de lluvias se han constatado pequeñas regatas ocasionales. Además, la escasa superficie de la cuenca hace que el volumen de agua en ella recogido sea poco relevante.

A efectos hidrogeológicos, el vertedero está asentado en su totalidad sobre los materiales albienses, los cuales pueden considerarse como de permeabilidad media-baja. Por tanto, la cantidad de agua infiltrada no será muy importante, favoreciéndose en épocas de lluvia la escorrentía superficial.

2.4.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.4.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD Y MUNICIPIOS SERVIDOS

Historia

El vertedero de Ventas ha sido el emplazamiento en el que el municipio de Irun ha vertido sus residuos urbanos desde antes de la década de los setenta. A partir de mediados de los años ochenta también vertió sus residuos el municipio de Hondarribia.

Inicialmente, el vertido se realizó directamente sobre la vaguada, sin disponer de ningún tipo de infraestructura y medios que garantizaran unas mínimas condiciones higiénicas. A comienzos de los años setenta, se inició la trituración mecánica de las basuras con una máquina expresamente adquirida para ese fin, que realizó perfectamente su cometido. Sin embargo, la basura triturada se depositaba en la misma vaguada, sin que esta se hubiera dotado de la mínima infraestructura de vallado del recinto, separación de aguas pluviales, recogida de lixiviados, etc.

Posteriormente, el elevado costo de mantenimiento de la trituradora, su tamaño inadecuado para el volumen de basuras a tratar (la máquina era igual a la utilizada en el vertedero de Artigas (Bilbao), donde el volumen tratado era 6 veces superior), dio lugar a que las basuras se vertieran directamente en su mayor parte, lo que trajo como consecuencia la profusión de incendios, malos olores, proliferación de roedores y aves, etc.

Debido a todo ello, a principios de los años ochenta se redactó un proyecto de vertedero controlado suprimiendo la máquina trituradora. A partir de entonces, la basura se extendía mediante una máquina adecuada que además de hacer dicha función, trituraba y compactaba la basura depositada. Una vez tratada de esta manera, se cubría con material inerte.

En su momento se valló todo el recinto y se realizaron diversas obras a fin de separar las aguas pluviales de los lixiviados.

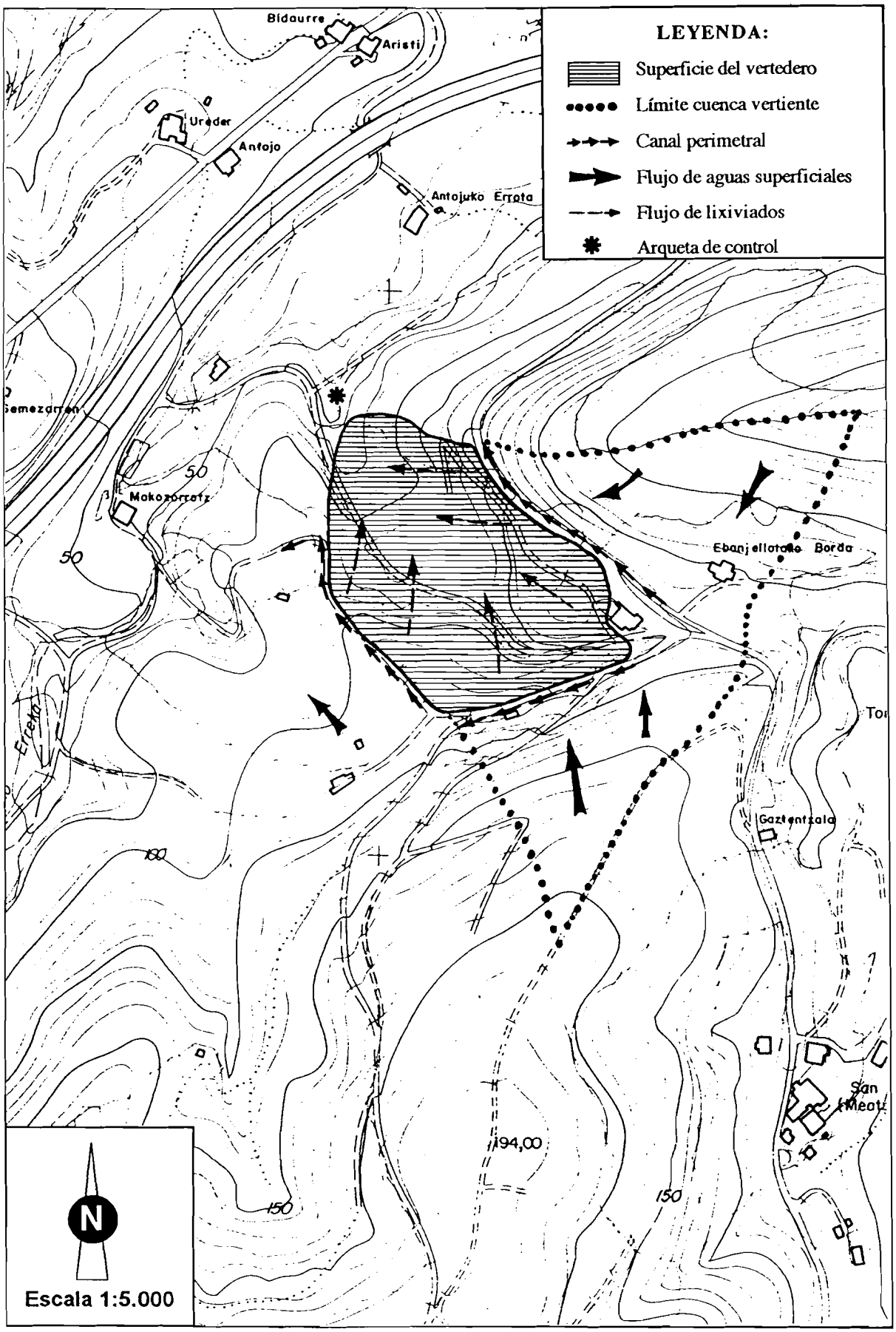


Figura 2.5. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Ventas. Aspectos hidrológicos.

Fotos 2.7 y 2.8. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Ventas (Marzo de 1993).

En la primera etapa de deposición más o menos controlada de basuras se cubrió un manantial que surgía en la vaguada. Los posteriores intentos de buscar dicha fuente y desviarla a fin de que no se mezclasen con los lixiviados agotaron los presupuestos existentes impidiendo el tratamiento previsto de los lixiviados. No obstante, se construyó al pie del talud que cierra el vertedero una balsa donde los lixiviados sufrían una rudimentaria decantación, dando lugar a un vertido al cauce público menos espectacular.

Ya en el aludido proyecto se hacía mención a que la vida del vertedero se estimaba en 10 o 12 años. La posterior incorporación de los vertidos de Hondarribia aceleró el proceso de colmatación del recinto.

En Septiembre de 1989 (ECOLÓGICA-KEMEN) fue redactado el "Proyecto de ampliación del vertedero municipal de R.S.U. de Ventas". En este proyecto se recogían las obras de colmatación y clausura de la cabecera del vertedero y la ampliación del pie y frente de vertidos, a fin de ampliar la vida útil del vertedero. Las obras citadas no llegaron a realizarse debido a un cambio de criterios de eliminación de los residuos urbanos de la comarca del Bidasoa.

Por todo ello, fue necesario la redacción del "Proyecto de Acondicionamiento y Restauración del vertedero de Ventas de Irun" (Iglesias & Azkue, 1992), del que ha sido extractado gran parte de este apartado, en el que se definieron las obras de cierre y clausura de las instalaciones.

En este proyecto se consideraba también el hecho de que la ejecución de los trabajos conducentes a tales fines, debían compatibilizarse con los vertidos de basuras a realizar hasta el 31 de Diciembre de 1992, fecha en la que debía de finalizar toda actividad de vertido en el recinto.

Extensión, capacidad y municipios servidos.

La extensión total del área de vertido es de unos 45.000 m^2 y se sitúa entre las cotas 55 y 110 m. No existen datos referentes al volumen de residuos vertidos en el vertedero debido a la ausencia de control sobre esta materia. Únicamente conocemos las cantidades medias generadas en los últimos años por los dos municipios que vertían en el vertedero, Irun (53.300 hab.) y Hondarribia (13.500 hab.), y que ascienden a unas 19.500 y 5.600 tm/año respectivamente.

2.4.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DE LA CLAUSURA REALIZADA

Durante el tiempo que la instalación funcionó como vertedero controlado las aguas que la cuenca aportaba en dirección al vertedero eran desviadas mediante un sistema de drenaje perimetral, para lo cual se utilizó, por una parte la propia carretera que rodeaba al vertedero por su parte oriental, y por otra, un canal que circulaba bajo el camino de acceso construido en el sector occidental del mismo (Figura 2.5).

Las entradas de aguas al vertedero se producían fundamentalmente por la infiltración eficaz de la lluvia caída directamente sobre su superficie y mediante un manantial existente en la misma vaguada que fue cubierto por las basuras. Las salidas de lixiviado se producían de

manera difusa en las terrazas situadas a diferentes cotas en el frente del vertedero y se concentran en el punto más bajo del mismo, en una balsa construida al efecto, desde donde eran conducidos directamente al río.

Características de la clausura realizada

Dentro de las obras realizadas para la clausura definitiva de este vertedero pueden citarse:

- Construcción de una escollera a pie de talud a fin de recalzarlo y que al mismo tiempo permite la captación de los lixiviados dada su impermeabilización.

- La captación y desvío de las aguas de escorrentía superficial mediante la construcción de dos nuevas cunetas perimetrales.

- El drenaje de los lixiviados, que una vez recogidos en una arqueta ubicada en el pie de la escollera, son conducidos a la red general de saneamiento municipal.

- Recogida y transporte de los gases producidos hasta una antorcha centralizada.

- Sellado de la superficie del vertedero, de características similares a la efectuada en el vertedero de Petritegi.

2.4.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN. SITUACIÓN ACTUAL

El tipo de explotación sufrió grandes variaciones a lo largo de la historia del vertedero, pasando de una explotación incontrolada en los primeros años a una controlada en los últimos años de actividad del mismo. En este último periodo, el sistema de vertido era similar al descrito para el resto de vertederos considerados.

Actualmente en el vertedero no se llevan a cabo labores de mantenimiento visibles. La vegetación ha colonizado prácticamente la totalidad de la superficie. Por algunas zonas es muy difícil pasar dada la abundante vegetación (árboles, zarzas, matorrales,..). No se ha reconocido en ningún momento olor a gas metano, existiendo un sistemas de extracción del mismo (chimeneas, tubos de conducción y una antorcha, donde es quemado). En el frente del vertedero se observa un desprendimiento de materiales de dimensiones considerables. A favor del mismo se produce la salida de lixiviados, dando lugar a una pequeña regata que fluye hacia el fondo de la vaguada. Aunque su caudal no es muy importante (< 1l/seg) provoca un impacto negativo sobre el entorno dada la toxicidad de estos lixiviados. Tanto el desprendimiento como la regata son visibles desde la carretera comarcal GI-2134 (Irun-Oiartzun).

2.5. VERTEDERO DE URTETA (ZARAUTZ)

2.5.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El vertedero está situado en el término municipal de Zarautz, en una vaguada cercana al barrio de Urteta (Figura 2.1 y Figura 2.6), que vierte sus aguas a la regata de Iñurritza que desemboca directamente en el Mar Cantábrico. En esta misma vaguada y a una cota superior se encuentra el antiguo vertedero de Zarautz que fue clausurado y convenientemente recuperado durante la construcción del nuevo vertedero.

2.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.5.2.1. GEOLOGÍA

Los materiales aflorantes en los terrenos del vertedero forman parte del flanco N del anticlinorio de Tolosa-monte Arno.

Estos materiales fueron plegados durante la orogenia Alpina. Tectónicamente, los materiales se encuentran en la zona de máxima curvatura del Arco Vasco. Al NE del vertedero se encuentra el isleo de Urteta formado por materiales del Cretácico inferior, y al S el cabalgamiento de Pagoeta, donde los materiales mesozoicos cabalgan hacia el E. Ninguna de estas dos estructuras afecta al vertedero de Zarautz.

Los materiales diferenciados en la zona del vertedero pertenecen al Cretácico superior (Cenomaniense-Campaniense) en su mayor parte, y una pequeña parte a los tramos inferiores del Maestrichtiense-Danés (Tamés, 1985).

Cretácico superior (Cenomaniense-Campaniense): La litología es principalmente margosa con estratos de unos 10 cm de potencia con intercalaciones de niveles de unos 10 cm de potencia de calizas arenosas. Por los afloramientos observados se ha podido apreciar que los estratos de calizas están presentes en muy poca proporción y no presentan signos de karstificación. Las margas varían en coloración entre colores claros y oscuros, estando los colores oscuros en la parte alta de la vaguada, haciéndose los colores más claros según se va hacia el E y siendo en esta zona donde la proporción de carbonatos es mayor. Se han podido distinguir en varios afloramientos laminaciones paralelas que indican una serie con episodios turbidíticos. La potencia total de este conjunto es de unos 1.500 m.

Maestrichtiense-Danés: Está representado en la parte W de la zona del vertedero, cogiendo una pequeña proporción del terreno ocupado por éste. El límite entre el Maestrichtiense-Danés y el Cretácico superior es difuso y el tránsito se produce en una zona oculta por la vegetación. Los tramos aflorantes pertenecen a la parte basal del Maestrichtiense-Danés, que en esta zona presenta en conjunto una potencia reducida.

La litología observada es fundamentalmente margosa en bancos de unos 5 cm de espesor, con algunas intercalaciones de hasta 25 cm de espesor de areniscas calcáreas con mica y algunos óxidos de Fe que le dan un tono marrón al conjunto. El carbonato presente en margas y areniscas es micrítico. En los bancos detríticos, se aprecian laminaciones paralelas.

Desde un punto de vista estructural, los terrenos estudiados forman parte del anticlinorio de Tolosa-monte Arno. La dirección general del plegamiento es NW. En este anticlinorio existen abundantes pliegues asociados, que siguen las direcciones generales del pliegue principal.

Las direcciones de los estratos medidas oscilan entre N30E y N150E con buzamientos suaves de unos 35° hacia el SE. Debido al criterio de polaridad marcado por los pliegues decamétricos se puede decir que la serie se encuentra normal. Se han podido medir dos sistemas de fracturas, formados por diaclasas con direcciones paralelas a la estratificación y buzamientos de 70° hacia el W, y otro sistema perpendicular con buzamientos subverticales.

En las inmediaciones del vertedero, se aprecian perfectamente unos pliegues isopacos de escala decamétrica. La dirección del eje del pliegue es N40W con una inclinación del eje hacia el NW y vergencia hacia el W. También se ha apreciado una pequeña fractura asociada al plegamiento con una dirección similar a la del eje del pliegue.

2.5.2.2. GEOMORFOLOGÍA

La vaguada se ha formado por erosión regresiva. Las formas de las lomas son suaves debido a la litología fundamentalmente margosa no habiéndose desarrollado pendientes fuertes ni farallones.

El desarrollo de rellenos coluviales y aluviales no tiene importancia en la zona del vertedero, ya que en esta zona apenas se produce depósito, siendo una zona fundamentalmente de transporte con una erosión muy moderada. En la zona estudiada no se aprecian fenómenos de deslizamiento importantes. El recubrimiento del suelo es escaso y no alcanza en muchos sitios el metro de espesor. La mayor parte del recorrido de las regatas se encuentra sobre roca sana.

En la margen izquierda de la ladera principal se observan pequeñas cicatrices de antiguas caídas que se podrían volver a producirse debido a que el buzamiento de los estratos hacia el interior de la ladera favorece estos fenómenos.

2.5.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La cuenca vertiente en la que se instala el vertedero posee una superficie total de 260.000 m^2. El carácter básicamente impermeable del sustrato favorece la formación de escorrentía superficial frente a la infiltración. Existen únicamente dos regatas, de carácter estacional, cuyas aguas discurren en dirección al vertedero.

Los materiales margosos de la zona del vertedero son, como ya se ha dicho, de muy baja permeabilidad y en ellos no se ha desarrollado ningún sistema acuífero. Dentro del "Estudio de evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del Territorio Histórico de Guipúzcoa" (DFG-SGOP, 1985), esta zona fue clasificada como impermeable.

Por las observaciones de campo se ha podido comprobar la impermeabilidad del terreno, ya que no existen en las inmediaciones manantiales importantes, debido a que el sistema de fracturación desarrollado es poco importante. También se han observado fenómenos de tubificación, típicos de zonas impermeables, donde el agua de lluvia se infiltra en el suelo, y al llegar a la roca sana no puede seguir infiltrándose por lo que poco a poco forma tuberías naturales entre el suelo y la roca sana por donde el agua se va al fondo de las vaguadas o sale a media ladera.

En la margen derecha del vertedero existe una pequeña cueva formada a favor de una caída y por un fenómeno de tubificación, pero no indica un fenómeno kárstico en sí.

2.5.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.5.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD, VIDA ÚTIL Y MUNICIPIOS SERVIDOS

Historia

Con anterioridad a la construcción del nuevo vertedero de Urteta, los residuos generados en la zona se vertían en el antiguo vertedero situado en la parte más alta de la misma vaguada tras ser incinerados en una serie de incineradores situados junto a la zona de vertido.

Tras la redacción del "Plan Director para la Gestión de los R.S.U. de Gipuzkoa", en 1982, se estudiaron distintas ubicaciones para el nuevo vertedero de la comarca. Por razones de índole geológico, económico y socio-políticas, se decidió ubicar el nuevo vertedero controlado en la parte inferior de la vaguada en la que se situaba el antiguo tras clausurar y recuperar medioambientalmente la zona ocupada por este último.

A tal fin, NEURRI (1985) redacta el "Proyecto de vertedero controlado comarcal de Zarautz y Corrección de Impacto" en el que se definen todas las obras precisas para la puesta en marcha del vertedero, entre las que se incluyen: la construcción de viales de acceso y del área de servicios, la contención de los taludes, así como el drenaje y conducción de las aguas de escorrentía superficial y lixiviados.

Tras darse por finalizadas todas estas obras, el vertedero queda inaugurado a mediados de 1990. Posteriormente, se proyectó la conducción de los lixiviados generados hasta el colector general de aguas residuales de Zarautz (INJELAN, 1991).

Extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos

La extensión del vertedero es de unos 62.000 m^2, mientras que su capacidad se ha estimado en 467.575 m^3. Suponiendo unos vertidos medios anuales de 13.000 tm (R.S.U. más industriales asimilables), se ha calculado en 20 años la vida útil del mismo (estimación realizada en 1985; como densidad media de los residuos se ha considerado el valor de 0,75 tm/m^3).

La base del vertedero está a una altura de 90 m, y está previsto rellenarlo hasta la cota de 150 m, cota a la que se sitúa también el vertedero antiguo.

En este vertedero se vierten los residuos generados en 5 municipios (Zarautz, Zumaia, Orio, Getaria y Aia) que cuentan conjuntamente con una población superior a los 34.000 habitantes. Es gestionado por la Mancomunidad de Urola Kosta.

2.5.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El drenaje de las aguas de escorrentía superficial que fluyen hacia la zona ocupada por el vertedero se realiza de diferentes formas (Figura 2.6):

- Parte de estas aguas (las que provienen de la zona situada a cotas superiores al vertedero), fluyen por una galería de amplias dimensiones de hormigón armado que ocupa el fondo del tramo de vaguada sobre el que se asienta el vertedero. De esta forma se drena una superficie de 151.600 m^2.

- El resto de la escorrentía se drena por medio de 3 cunetas perimetrales de hormigón que canalizan el agua recogida hasta la regata existente aguas abajo de la salida de la galería.

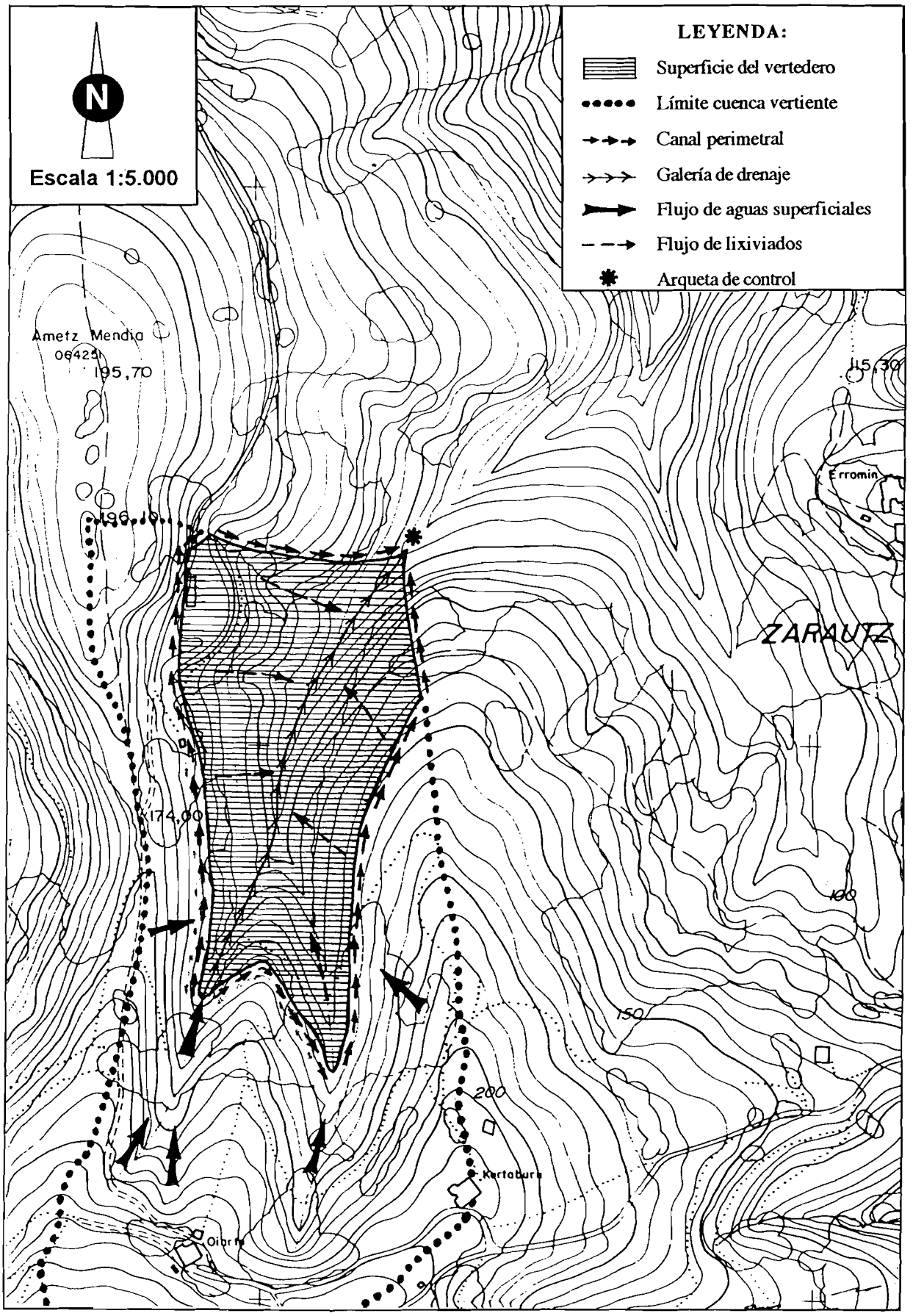


Figura 2.6. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Urteta. Aspectos hidrológicos.

Fotos 2.9 y 2.10. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Urteta (Febrero de 1995).

Respecto al drenaje de los lixiviados formados, éste se realiza mediante una serie de zanjas de drenaje rellenas de material filtrante y provistas en su fondo de una tubería de hormigón poroso. Dos de ellas se han dispuesto paralelamente a la galería que cubre la regata, localizándose el resto en aquellos puntos en los que se produce acumulación de lixiviados (fondos de vaguadas y pies de taludes).

Este sistema se ve completado por el efecto producido por la impermeabilización en el trasdós de la escollera de base situada en el frente del vertedero de la forma que se detalla en este mismo apartado referente al vertedero de San Blas.

Los lixiviados así recogidos convergen en una arqueta desde la que son conducidos por medio de una tubería de polietileno de 600 mm de diámetro externo hasta el colector de aguas residuales de Zarautz.

Este colector lleva todas estas aguas hasta la EDAR situada en el extremo E de la depresión cuaternaria de Zarautz donde tras ser sometidas a un pretratamiento se vierten al mar Cantábrico por medio de un emisario submarino.

2.5.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN Y DE RESIDUOS VERTIDOS. PREVISIONES

El sistema de vertido es similar al descrito en el caso de los vertederos anteriores. La compactación se realiza con máquinas compactadoras utilizándose como material de cubrición tierras y materiales de escombros fundamentalmente.

En la Tabla 2.4. se muestran las cantidades de residuos vertidos en este vertedero desde 1992. Las categorías diferenciadas son: R.S.U., residuos de playas, particulares y muebles.

URTETA	R.S.U.	Residuos de playas	Muebles	Particulares	TOTAL (tm)
1992	14.941 (77,7 %)	2.042 (10,6 %)	232 (1,2 %)	2.017 (10,5 %)	19.233
1993	14.883 (79,5 %)	1.534 (8,2 %)	255 (1,4 %)	2.045 (10,9 %)	18.717
1994	15.130 (75,6 %)	2.032 (10,2%)	303 (15,1 %)	2.535 (12,7 %)	20.000
1995	14.671 (77,2 %)	1.134 (6 %)	403 (2,1 %)	2.803 (14,7 %)	19.011
1996	15.897 (79,4 %)	665 (3,3 %)	249 (1,2 %)	3.197 (16 %)	20.009

Tabla 2.4. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Urteta.

Según el "Plan Integral de R.S.U. de Gipuzkoa 1996-2020", este vertedero será clausurado en el año 2004 una vez agotada su capacidad. Desde ese momento, los R.S.U. generados en la comarca de Urola Kosta pasarán a verterse en el vertedero de Lapatx.

2.6. VERTEDERO DE SASIETA (BEASAIN)

2.6.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Este vertedero se emplaza sobre una vaguada que desciende desde el monte Orritxipi (358 m) hasta el río Estanda, en las proximidades del barrio de Salbatore del municipio de Beasain (Figura 2.1 y Figura 2.7). El acceso se realiza a través de la carretera comarcal GI-632 (Beasain-Ormaiztegi) por medio de un desvío situado a unos 3 kilómetros de Beasain y que conduce a la zona de servicios y de pesaje.

2.6.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.6.2.1. GEOLOGÍA

A nivel regional, los materiales aflorantes pertenecen a la sucesión flyschoide arenisco-calizo-arcillosa del Albiense superior-Cenomaniense inferior. Estos materiales forman parte en esta zona del Flanco S del Sinclinorio de Bizkaia formado durante la Orogenia Alpina.

En la zona del vertedero, la sucesión flyschoide está formada principalmente por pizarras margosas, existiendo también paquetes intercalados más arenosos (Tamés, 1984).

Las pizarras margosas presentan un color gris oscuro en estado sano y colores marrones cuando están alterados. Son rocas masivas en las que no se aprecia la estratificación, apreciándose sin embargo una clara pizarrosidad de fractura así como un diaclasado en algunos puntos. En ocasiones, las pizarras son más cuarzosas, presentando entonces colores más claros y una meteorización menor. Intercalados en las pizarras existen pequeños módulos de Fe.

En líneas generales, el vertedero se encuentra situado en el flanco de un pliegue cuyo plano axial tiene una dirección NW-SE. La estratificación no se aprecia y la esquistosidad presentan unas direcciones que varían entre N40E y N130E con buzamientos comprendidos entre 30 y 60 al NW. En una zona de la margen izquierda de la vaguada existen direcciones que oscilan entre N20E y N140E que indica la presencia de un pequeño pliegue asociado al pliegue general.

2.6.2.2. GEOMORFOLOGÍA

A lo largo de la vaguada fueron reconocidos, durante los estudios previos a la construcción del vertedero (Tamés, 1984), algunos pequeños deslizamientos así como fenómenos de "toppling" sobre todo en la parte izquierda donde la esquistosidad buza hacia el interior de la vaguada.

También fueron reconocidos algunos desprendimientos en lugares donde el diaclasado y la esquistosidad se cortaban.

2.6.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La vaguada sobre la que se emplaza el vertedero está formada por materiales de muy baja permeabilidad lo que favorece la escorrentía superficial de las aguas frente a la infiltración de las mismas. Los ensayos de permeabilidad efectuados han dado como resultado valores comprendidos entre $4 \cdot 10^{-8}$ y $5 \cdot 10^{-8}$ m/seg (IMA Consult, 1995). La extensión de la cuenca vertiente es de 310.000 m^2, de los que sólo 91.500 m^2 están ocupadas por el vertedero.

En la vaguada solo fue reconocido un pequeño manantial en la parte alta que descarga las aguas acumuladas en la parte superior del terreno, constituido por roca algo alterada (escorrentía hipodérmica). El contenido en Fe de estas aguas debe ser muy elevado dado el color que presenta, pudiendo provenir este Fe de la disolución de los nódulos ferruginosos intercalados en las pizarras.

2.6.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.6.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD, VIDA ÚTIL Y MUNICIPIOS SERVIDOS

El vertedero de Sasieta se construyó entre 1990 y 1991, vertiéndose los primeros residuos en Marzo de 1991.

La superficie total del vertedero es de 91.500 m^2, siendo su capacidad útil de unos 1.420.250 m^3. La zona de vertidos se sitúa entre las cotas 200 a 305 m. Suponiendo unos vertidos anuales de unos 49.500 tm se ha estimado la vida útil del vertedero en 24 años a partir de su puesta en actividad (como valor de la densidad se considera 0,75 tm/m^3 y se estima en un 25% el aumento suplementario de la capacidad debido al asentamiento, recompactación y desprendimiento de gases).

En la actualidad, vierten en él los municipios de Altzaga, Arama, Ataun, Beasain, Ezkio-Itxaso, Gaintza, Gabiria, Idiazabal, Itsasondo, Lazkao, Legazpia, Legorreta, Mutiloa, Olaberria, Ordizia, Ormaiztegi, Segura, Urretxu, Zaldibia, Zegama, Zerain y Zumarraga, que suman una población ligeramente superior a 68.000 habitantes. De estos municipios los más importantes son Beasain, Zumarraga, Legazpia y Ordizia con poblaciones comprendidas entre los 12.300 y los 9.300 habitantes. Es gestionado por la Mancomunidad de Sasieta.

2.6.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El drenaje de las aguas superficiales (Figura 2.7) se realiza de forma similar a como se lleva a cabo en el vertedero de Urteta: parte de las aguas, las que proceden de las zonas más altas, fluyen por una galería de grandes dimensiones (0,8 m de ancho por 1,60 de alto) que discurre por el fondo de la vaguada ocupada por el vertedero. Esta galería o colector está diseñada para evacuar puntas de caudal de hasta 7 m^3/seg. El resto de la escorrentía superficial, la que procede de los costados, se drena mediante cunetas perimetrales que vierten el agua recogida al río.

También existe una red de drenaje asociada a la explotación, consistente básicamente en las cunetas de los viales de servicio que cortan la escorrentía interna y conectan en determinados puntos con el drenaje permanente.

El drenaje de lixiviados se realiza de igual forma que en el vertedero de Urteta, esto es, a través de una completa red de zanjas de drenaje al que hay que sumar el efecto impermeabilizante de la escollera de base por su parte interna.

En última instancia, los lixiviados convergen en un colector principal de 300 mm de diámetro que los conduce hasta el depósito de lixiviados situado justo al lado de la báscula y oficinas y que tiene una capacidad útil de 62 m^3. Posteriormente, estos lixiviados se llevan en camiones cisterna a la depuradora de aguas residuales de Iurreta (Bizkaia).

2.6.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN Y DE RESIDUOS VERTIDOS. PREVISIONES

El sistema de explotación es similar al de los vertederos anteriores en activo. Al igual que en el caso del vertedero de Lapatx, como materiales de cubrición se vienen utilizando cantidades considerables de escorias de fundición, del orden de 1.800 tm/mes. Las cantidades y tipos de residuos vertidos se muestran en la Tabla 2.5. Puede observarse cómo la cantidad

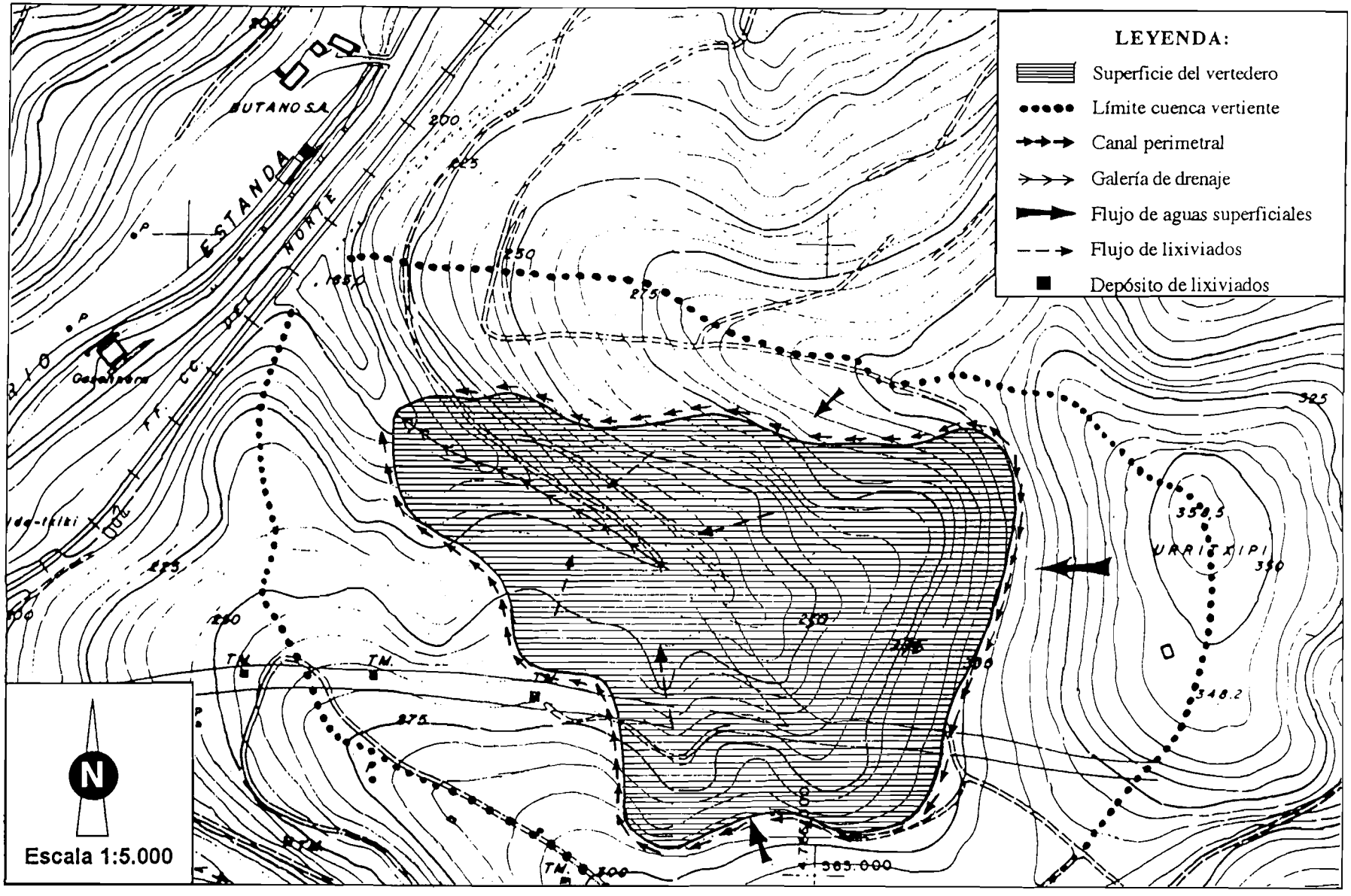


Figura 2.7. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de Sasieta. Aspectos hidrológicos.

Fotos 2.11 y 2.12. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de Sasieta (Abril de 1991).

vertida de R.S.U. es muy estable en los distintos años a diferencia de lo que ocurre con las cantidades de residuos inertes.

SASIETA	R.S.U.	R.S. Inertes	Escorias fundición	TOTAL (tm)
1991(*)	13.617 (91,7 %)	1.230 (8,3 %)	?	14.847(**)
1992	18.090 (82,3 %)	3.890 (17,7 %)	?	21.980(**)
1993	18.695 (80,4 %)	4.547 (19,6 %)	?	23.242(**)
1994	18.703 (39,5 %)	6.686 (14,1 %)	21.900 (46,3 %)	47.289
1995	17.181 (70 %)	7.366 (30 %)	?	24.547(**)
1996	18.251 (56 %)	14.206 (44 %)	?	32.457(**)

(*) desde Marzo

(**) Sin incluir las escorias de fundición vertidas

Tabla 2.5. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Sasieta.

Este vertedero estará en funcionamiento como mínimo hasta el año 2015 según el "Plan Integral de R.S.U. de Gipuzkoa 1996-2020", existiendo la posibilidad de prorrogar su funcionamiento. Se tiene previsto invertir en él del orden de 980 millones de pesetas. Su zona de influencia se verá ampliada considerablemente. Así, pasará a recibir a partir de Enero de 1997 los R.S.U. generados en la comarca del Alto Deba (la incineradora de Akei habrá sido ya clausurada), y los generados en Tolosaldea tras la clausura del vertedero de San Blas en el año 1999.

2.7. VERTEDERO DE SAN BLAS (TOLOSA)

2.7.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El vertedero de San Blas se encuentra en el municipio de Tolosa (Figura 2.1 y Figura 2.8), en la vaguada contigua al cementerio, justo en límite con el municipio de Ibarra. El acceso al mismo se realiza siguiendo el camino que conduce al cementerio.

2.7.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.7.2.1. GEOLOGÍA

Desde el punto de vista regional, este área se encuadra en la parte meridional del Arco Vasco, en la terminación occidental de los Pirineos, compartiendo incluso estructuras, como la falla de Leiza.

Localmente, en la zona ocupada por el vertedero y por su cuenca vertiente, únicamente afloran materiales pertenecientes al Trías en facies Keuper así como materiales del Cretácico Superior en clara discordancia sobre los anteriores.

Dentro de los materiales pertenecientes al Trías en facies Keuper se diferencian dos términos cartográficos:

Arcillas abigarradas y yesos: Formada por arcillas de colores rojizos, verdosos y ocres, que incluyen delgados niveles de limolitas micáceas versicolores. En ocasiones intercala niveles de evaporitas (yesos sobre todo), que en algunas zonas cercanas han sido objeto de explotación. Las arcillas presentan su típica característica plástica.

Rocas ofíticas: Dentro de las arcillas abigarradas mencionadas aparecen rocas básicas subvolcánicas, con textura ofítica, en forma de masas con tamaños variables. Poseen un color verde oscuro en fractura fresca y una alteración rojizo-amarillenta, debido a su elevado contenido en minerales ferromagnesianos. Generalmente aparecen muy alteradas. En corte fresco, aparecen como de grano variable, con aspecto masivo y con una fracturación relativamente importante.

Materiales del Cretácico Superior: En clara discordancia con los materiales anteriores, No están afectados por el metamorfismo ligado a la falla de Leiza. Se distinguen dos tipos de materiales:

- Margas grises oscuras esquistosas ("Flysch calcáreo" según algunos autores). Se trata de margas algo limosas, gris oscuro y azuladas, muy esquistosas y con algo de pirita diseminada. En contacto mecánico sobre los materiales del Trías.

- Alternancia de margas y calizas arenosas ("Flysch detrítico-calcáreo"). Constituido por margas y lutitas calcáreas, limosas, grises oscuras, que alternan en proporciones variables con calizas arenosas de grano fino, estratificadas en bancos de 20-40 cm.

2.7.2.2. GEOMORFOLOGÍA

Las formas del terreno son suaves debido a la litología arcillosa que prevalece en este área. Los suelos son de espesor limitado (2-3 m). Están constituidos por arcillas de tipo coluvión o residual fundamentalmente.

La escasa potencia de los suelos explica que las inestabilidades sean de escasa importancia, aunque en ocasiones son dignas de mención. Este es el caso de la que se aprecia muy cerca del vertedero, junto al cementerio de Tolosa, en la que un muro ha sufrido una deformación importante por fallo en su cimentación.

2.7.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La cuenca vertiente tiene una extensión de 137.000 m^2, de los que sólo unos 20.000 m^2 están ocupados por el vertedero.

Las pendientes existentes, no muy elevadas aunque tampoco despreciables, unido a la baja permeabilidad de los materiales, favorece la escorrentía en detrimento de la infiltración. Asociados a los materiales coluviales que recubren en ocasiones las laderas pueden reconocerse pequeños manantiales de funcionamiento intermitente.

2.7.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.7.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD, VIDA ÚTIL Y MUNICIPIOS SERVIDOS

Historia

El vertedero de San Blas es el lugar en el que el municipio de Tolosa y su comarca han vertido sus residuos urbanos desde los años setenta.

ECOLÓGICA-KEMEN (1988) estudiaron posibles nuevos emplazamientos para la ubicación de un nuevo vertedero controlado para Tolosa y su comarca, pero debido a distintos problemas, estos planes no pudieron llevarse a cabo, por lo que se decidió como medida más oportuna proceder a la ampliación y adecuación de las instalaciones del vertedero ya existente.

Estas obra se realizaron entre 1992 y primeros meses de 1993 e incluyeron entre otras operaciones ("Proyecto de Ampliación del vertedero de Tolosa. Primera parte". INJELAN, 1991): la construcción de viales de acceso y del área de servicios; cerramientos; construcción de una escollera en el frente del vertedero que además de recalzar la masa de vertidos favorece la captación de los lixiviados; y definición y construcción de los sistemas de drenaje tanto de aguas superficiales como de lixiviados.

Es por tanto a partir de Mayo de 1993 cuando podemos considerar al vertedero de San Blas como un vertedero estrictamente controlado.

Extensión, capacidad, vida útil y municipios servidos

La extensión del vertedero es de unos 20.000 m^2, mientras que la capacidad del vertedero tras la ampliación realizada en 1993 es de 193.640 m^3 (sin considerar el volumen ocupado por los vertidos anteriores, del cual no existen estimaciones). La base del vertedero se encuentra a 135 m, habiéndose previsto el relleno hasta la cota de 165 m.

En este vertedero vierten sus residuos actualmente un total de 25 municipios de la comarca de Tolosa: Abaltzisketa, Aduna, Andoain, Anoeta, Albiztur, Alegia, Alkiza, Altzo, Asteasu, Baliarrain, Belauntza, Berastegi, Berrobi, Billabona, Elduaien, Hernialde, Ibarra, Ikastegieta, Irura, Larraul, Leaburu-Gaztelu, Lizartza, Orexa y Tolosa, siendo los de mayor población Andoain (15.265 hab.) y Tolosa (18.150 hab.). En total, queda cubierta una población de más de 57.000 habitantes. El vertedero es gestionado por el Ayuntamiento de Tolosa.

2.7.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

La red de drenaje de aguas de escorrentía superficial consta de una red permanente y de otra de explotación (Figura 2.8).

La red permanente consiste en una serie de cunetas de diferentes tipos instaladas en el perímetro del vertedero al objeto de evacuar las aguas de escorrentía que fluyen del entorno hacia el área ocupada por el vertedero. Por medio de estas cunetas, de formas trapezoidales y triangulares se consigue drenar en total una cuenca de 125.000 m^2.

La red de explotación, por su parte, consiste únicamente en las cunetas del vial de servicio que cortan la escorrentía interna del vertedero y conectan en determinados puntos con el drenaje permanente. A medida que el relleno va cubriendo el vial de servicios, es necesario, por una parte efectuar nuevas conexiones de las cunetas del vial con el drenaje permanente y por otra reconvertir las cunetas en zanjas para recogida de lixiviados conectándolas en consecuencia con la red de lixiviados.

Respecto a la red de drenaje de lixiviados, ésta consta de las mencionadas cunetas de los antiguos viales de servicio, de una serie de zanjas instaladas en las posibles vías naturales de

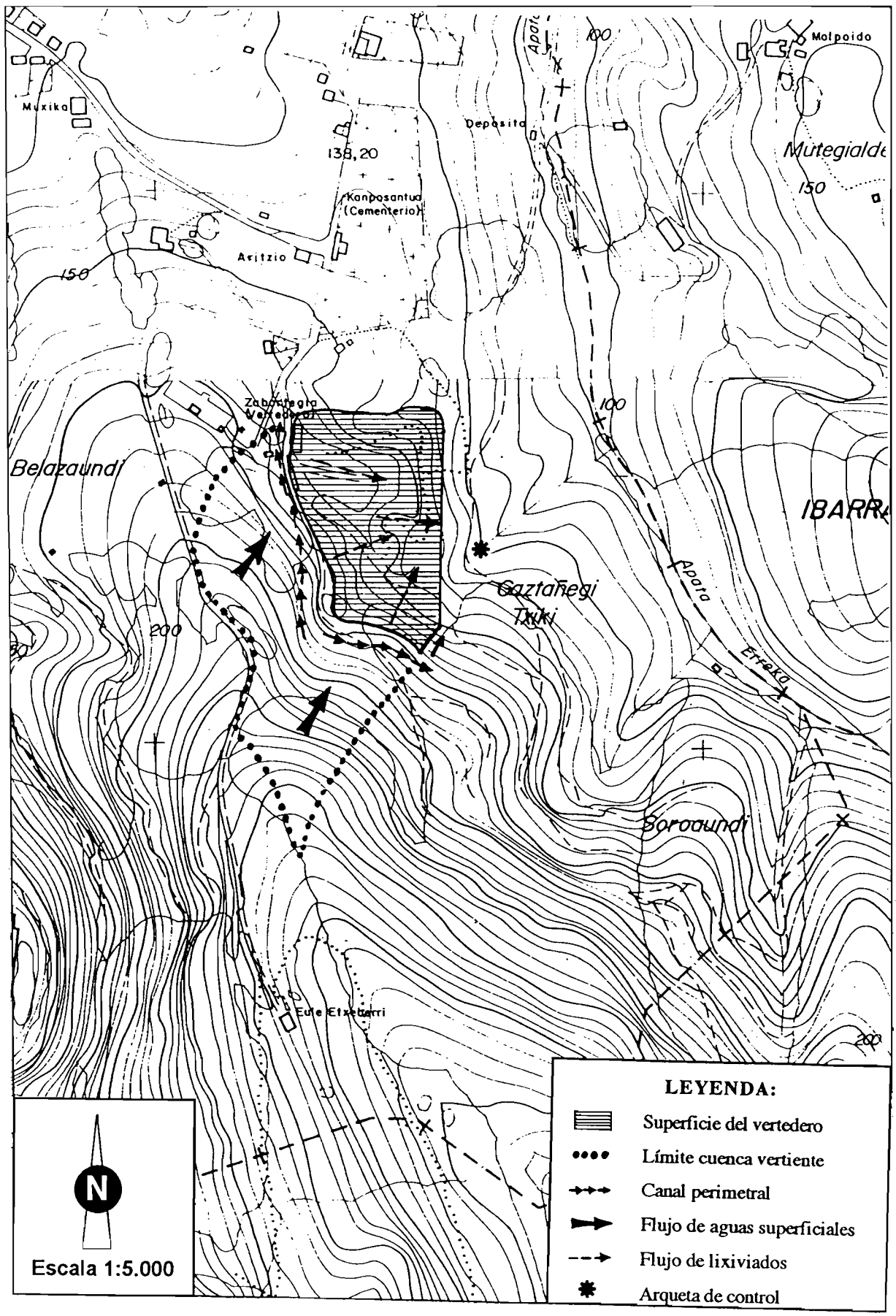


Figura 2.8. Emplazamiento del vertedero de R.S.U. de San Blas. Aspectos hidrológicos.

Fotos 2.13 y 2.14. Vistas aéreas del vertedero de R.S.U. de San Blas (Abril de 1995).

circulación de los líquidos y fundamentalmente del efecto producido por la impermeabilización en el trasdós de la escollera de base.

El drenaje de lixiviados en dicha escollera se realiza mediante una lámina impermeabilizante de polietileno, una malla de geotextil y un lecho de grava protegido con geotextil. Los lixiviados interceptados son recogidos por una tubería de hormigón poroso que los conduce a una arqueta de paredes huecas desde donde atraviesa la escollera para llegar a otra arqueta de toma de muestras y aforo. Finalmente son conducidos mediante tubería de 300 mm de diámetro hasta el límite con el municipio de Ibarra donde se vierten a una pequeña regata. Se tiene proyectado conectar esta conducción al interceptor comarcal de Zelai previsto en el Plan de Abastecimiento y Saneamiento de la Comarca de Tolosa.

SAN BLAS	R.S.U. (Tolosa)	R.S.U. (Tolosaldea)	TOTAL (tm)
1983	5.151 (64,9 %)	2.791 (35,1 %)	7.942
1984	5.480 (64,3 %)	3.038 (35,7 %)	8.518
1985	5.811 (64,2 %)	3.240 (35,8 %)	9.051
1986	5.732 (64 %)	3.155 (35,2 %)	8.887
1987	5.950 (64,6 %)	3.179 (34,5 %)	9.129
1988	6.510 (66 %)	3.353 (34 %)	9.863
1989	7.608 (67,4 %)	3.670 (32,6 %)	11.278
1990	6.384 (86,7 %)	977 (13,3 %)	7.361
1991	6.634 (66,1 %)	3.396 (33,9 %)	10.030
1992	6.670 (53,7 %)	5.739 (46,3 %)	12.409
1993	6.805 (56,1 %)	5.309 (43,9 %)	12.114
1994	6.980 (42,2 %)	9.569 (57,8 %)	16.549
1995	6.121 (37,8 %)	10.034 (62,2 %)	16.155

Tabla 2.6. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de San Blas.

2.7.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN Y DE RESIDUOS VERTIDOS. PREVISIONES

Como ya se ha comentado, únicamente podemos referirnos al vertedero de San Blas como vertedero estrictamente controlado a partir de Mayo de 1993. Desde ese momento, el proceso de vertido es básicamente el mismo que el relatado para el resto de los vertederos en activo. En la Tabla 2.6 se presentan las cantidades de residuos vertidas en el vertedero desde el año de 1983.

Como materiales de cubrición utilizan arcillas extraídas de una pequeña cantera situada dentro de los límites del vertedero. A esta cantera se accede directamente desde el vial de servicios y lógicamente quedará enterrada con el tiempo a medida que se vayan cubriendo las etapas de la vida útil del vertedero hasta su clausura final.

Según el "Plan Integral de R.S.U. de Gipuzkoa 1996-2020", este vertedero será clausurado en el año 1999 una vez agotada su capacidad. Desde ese momento, los R.S.U. generados en la comarca de Tolosa pasarán a verterse en el vertedero de Sasieta.

2.8. VERTEDERO DE GÓNGORA

2.8.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Se sitúa en el término municipal de Góngora (Navarra), en el valle de Aranguren, entre las localidades de Zolina y Labiano (Figura 2.1). El acceso se realiza a través de la carretera que, atravesando todo el valle, conduce del pueblo de Tajonar al de Aranguren. La distancia al núcleo de población más cercano es superior a los 1.000 m.

2.8.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.8.2.1. GEOLOGÍA

A nivel regional, la zona está incluida dentro de la franja de materiales de edad Terciaria, de origen marino, que de E a W atraviesan Navarra y que continúan hacia el W formando las Sierras exteriores Pirenaicas.

Concretamente, los materiales que afloran en la zona del vertedero pertenecen al Eoceno Medio (Biarritziense) y están constituidos exclusivamente (Galán, 1989) por margas masivas de color gris azulado, con estratificación muy poco marcada, y que se conocen como las "Margas de Pamplona".

La potencia de esta formación se cifra entre 400 y 2.000 m, y en esta zona en concreto, según datos del Instituto Tecnológico y Geominero de España-ITGE (1978), se alcanzan los máximos espesores.

El emplazamiento del vertedero se encuentra en el núcleo de un anticlinal, por lo que las areniscas que afloran en las cercanías (Labiano y Ardanaz), al estar situadas estratigráficamente por encima, no se encuentran en profundidad. Así, en unos 2.000 m sólo se encuentran margas, lo cual ha podido ser corroborado a partir de datos de geofísica y de sondeos profundos realizados para investigación de hidrocarburos.

Estas margas son muy fácilmente meteorizables, dando lugar a los relieves de cárcavas que pueden observarse en todo el valle. Como producto de alteración queda fundamentalmente la fracción arcillosa que forma los campos de cultivo actuales.

2.8.2.2. GEOMORFOLOGÍA

Las margas destacan por su elevada alterabilidad cuando afloran en superficie lo que hace que los relieves de la zona sean muy suaves, sin elevaciones apreciables. Las laderas que cierran el valle son bajas y distantes entre sí, existiendo en las cercanías del vertedero varias lomas, que por otra parte, disminuyen el impacto visual del mismo.

En superficie, se encuentran suelos producto de la alteración de las margas compuestos por arcillas, arenas y restos vegetales. Los espesores de estos suelos varían ente 1 y 4 m aproximadamente. Por debajo de ellos, se encuentra normalmente una capa del orden de 1 m de espesor de margas alteradas y que no llegan a constituir un suelo.

Como es lógico, los suelos de alteración tienen una mayor potencia en el centro de las vaguadas, disminuyendo hacia los bordes para ser prácticamente nula en las laderas, donde

afloran las margas.

2.8.2.3. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La formación margosa que forma el vaso puede considerarse como de muy baja permeabilidad. Según datos de dos sondeos realizados en una vaguada próxima, sobre los mismos materiales, y en los que se efectuaron ensayos de permeabilidad tipo Lugeon, la permeabilidad de los materiales varía entre 0 y 1 unidades Lugeon (U.L.). Dado que una U.L. equivale a 10^{-7} m/s, la permeabilidad de las margas estará comprendida, según estos ensayos, entre dicho valor y valores ínfimos.

Los suelos coluviales superficiales pueden tener una permeabilidad algo superior pero siempre baja, ya que su componente fundamental es arcilloso.

Por lo tanto, la escorrentía de las aguas será casi exclusivamente superficial, excepto una pequeña parte que podrá circular por los suelos coluviales superficiales y que puede dar lugar a pequeños manantiales, siempre de escasa consideración dado el escaso espesor de estos materiales y su baja permeabilidad. Esta circulación subsuperficial desaparece lógicamente si se elimina la capa de suelos.

2.8.3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.8.3.1. HISTORIA, EXTENSIÓN, CAPACIDAD, VIDA ÚTIL Y MUNICIPIOS SERVIDOS

El Centro de Tratamiento de R.S.U. de Góngora entró en funcionamiento en Junio de 1992.

El área de vertidos ocupa una superficie de 455.000 m^2, habiéndose estimado su capacidad en 6.400.000 m^3. La zona de vertido está dividida en celdas, que son excavaciones rectangulares en las que se retira la tierra hasta llegar al nivel de las margas. La superficie de las celda varía entre 5.000 y 10.000 m^2. Según los cálculos iniciales, se espera que el Centro de Tratamiento funcione durante unos 50 años.

Desde su puesta en marcha, en este lugar se reciben los R.S.U. y asimilables producidos en toda la Comarca de Pamplona-Iruñerria, quedando atendida en total una población de unos 270.000 habitantes.

2.8.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Como ya se ha comentado, la zona de vertidos está dividida en celdas. Cada celda está rodeada por una cuneta perimetral que es la encargada de recoger las aguas superficiales. Estas aguas se canalizan posteriormente hacia la regata de desagüe del recinto.

Para la recogida de lixiviados se excavan en el fondo de las celdas, en las margas, canales de drenaje que son rellenados con gravas. Estos canales confluyen en un colector interior que recoge todos los lixiviados de las distintas celdas y los conduce a un colector emisor, construido con PVC de 315 mm de diámetro exterior de una longitud de 2.930 m. Este colector emisor conecta a la red general de saneamiento que conduce los lixiviados hasta la EDAR de Arazuri.

2.8.3.3. TIPO DE EXPLOTACIÓN Y DE RESIDUOS VERTIDOS

Tipo de explotación

Los camiones de recogida descargan las basuras en las celdas ya comentadas. Las máquinas-pala extienden y compactan posteriormente la basura formando capas de 2 m de altura que cubren diariamente con otra capa de tierra de 20 m de espesor. Encima se colocan nuevas capas de basura hasta cubrir la celda.

La primera capa de basuras descansa sobre la superficie inferior de la celda provista del sistema de drenaje y está atravesada por drenes verticales que comunican todas las capas que se sitúan en la misma vertical.

Como norma general, cualquier punto de vertido no dista más de 25 m del dren más próximo. Los drenes verticales sirven tanto para la captación de gases como para la recogida de lixiviados. Días antes de la clausura de una celda está dispuesta la siguiente excepto la conexión del drenaje que puede realizarse al inicio del vertido. La superficie de clausura tiene suficiente pendiente para evitar los encharcamientos.

El gas es conducido hasta la planta de energía, donde se encuentran los sistemas de depuración y los generadores para la producción de energía eléctrica, equipos que entraron en funcionamiento en 1995.

Residuos vertidos

En la Tabla 2.7 se muestran las cantidades vertidas en el vertedero desde su puesta en marcha. Como se observa, los R.S.U. suponen del orden del 56% del total.

GONGORA	Domiciliarios	Voluminosos	Escombros Tierras. Lodos	Industriales asimilables	Otros	TOTAL (tm)
1992	47.640 (52,4 %)	465 (0,5 %)	17.255 (19 %)	18.890 (20,8 %)	6.729 (7,4 %)	90.979
1993	84.553 (57,6 %)	1.103 (0,7 %)	19.896 (13,6 %)	30.475 (20,8 %)	10.577 (7,2 %)	146.604
1994	84.878 (55,8 %)	1.148 (0,7 %)	19.649 (12,9 %)	34.488 (22,7 %)	11.712 (7,7 %)	151.875

Tabla 2.7. Categorías y cantidades de residuos vertidos en el vertedero de Góngora.

2.9. CLIMATOLOGÍA

2.9.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES DE GIPUZKOA

Las características climáticas generales del Territorio Histórico de Gipuzkoa están definidas lógicamente por su posición latitudinal, esto es, por su ubicación en la zona sur de Europa occidental, lo que le obliga a quedar inmerso en la banda meridional de los westerlies, corriente de vientos del W que predominan en las latitudes templadas. Las variaciones en la posición latitudinal de dicha corriente zonal, así como sus ondulaciones, están en la base de la explicación de los diversos tipos de tiempo que se van alternando (Ruíz-Urrestarazu, 1982).

A un nivel más concreto, está condicionado por su situación en el contexto geográfico regional: a orillas del Mar Cantábrico, en el centro del Golfo de Bizkaia, y en el entronque entre las vertientes N de los Pirineos y la Cordillera Cantábrica. Ello hace de nuevo que este Territorio esté parte del año bajo el dominio de los vientos del NW, de origen atlántico, lo que

Fotos 2.15 y 2.16. Celdas de vertido en el vertedero de R.S.U. de Góngora.

da lugar a rasgos climático de tipo templados (temperatura media anual de 13 °C) y húmedo precipitaciones medias de 1.500 mm) con inviernos suaves, veranos relativamente frescos, aire húmedo, abundante nubosidad y lluvias frecuentes en todas las estaciones. Sin embargo, estas condiciones generales no son permanentes y están alteradas principalmente por la influencia de los vientos del S, además de los de procedencia E-NE (Salazar *et al.*, 1991).

El Mar Cantábrico ejerce una doble influencia climática: de un lado actúa como amortiguador térmico y de otro suministra vapor de agua. Los vientos de origen atlántico procedentes del W y N, cargados de este vapor, al ser empujados hacia los montes Vasco-Cantábricos son obligados por este obstáculo a ascender y por tanto a enfriarse (inicio de procesos de condensación y formación de nubes que se estrellan contra la cordillera produciendo nubosidad de estancamiento), dando lugar a lluvias a veces muy persistentes (Figura 2.9).

Por otra parte, con flujos de aire de componente N o NE sobre Europa Occidental, este territorio también se ve muy afectado. El flujo hacia la cuenca mediterránea es acelerado a través del paso vasco (entre Pirineos y la Cordillera Cantábrica) actuando la orografía a la manera de una rampa, produciendo rápidas ascendencias resultantes en fuertes lluvias (Figura 2.10).

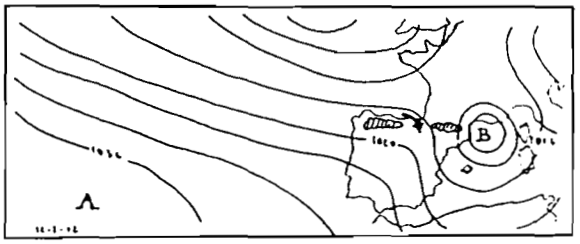


Figura 2.9. El flujo del W produce fuertes lluvias en Galicia, resbala por Cantabria provocando lluvias escasas, y se torsiona hacia el Mediterráneo por el País Vasco, produciendo aquí fuertes lluvias (Uriarte, 1980).

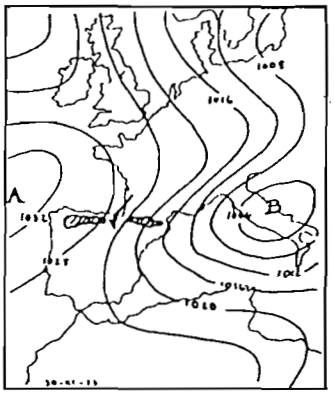


Figura 2.10. Flujos del N y del NE en Europa Occidental provocan fuertes lluvias en el País Vasco al torsionarse hacia la cuenca mediterránea (Uriarte, 1980).

En ocasiones también sopla el viento S caracterizado por ser seco, cálido y de fuerte intensidad. Los días en que sopla, la humedad relativa del aire desciende un 30% o 40%, la temperatura es anormalmente alta (con valores superiores a los 20°C en invierno y próximos a 35 e incluso 40 °C en verano), no siendo infrecuentes las rachas de viento superiores a los 100 km/h.

Los rasgos climáticos expuestos, están lógicamente modificados, a nivel local, por los condicionantes específicos que impone la orografía, la altitud y la distancia al mar.

2.9.2. RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO EN LAS ÁREAS DE LOS VERTEDEROS

La precipitación es uno de los caracteres del clima más definitorio. Es también factor controlador principal del ciclo hidrológico, y en este caso, factor fundamental condicionante de los lixiviados generados en los vertederos de R.S.U. estudiados.

De cara a conocer los regímenes pluviométricos de las áreas en las que se encuentran los vertederos, se han elegido 7 estaciones pluviométricas que cumplen las condiciones de estar lo más cerca posible de los vertederos en cuestión y de disponer de series históricas de registros.

Aunque algunas estaciones disponían de series históricas de más de 50 años, únicamente se ha considerado la información referente a los últimos 18 años, en el caso de las estaciones situadas en Gipuzkoa, al objeto de que el periodo de comparación sea el mismo para todas las estaciones (las estaciones de Azkoitia y Mutiloa sólo disponen de 18 años de datos al haberse instalado en 1977). En cuanto a la estación de Ilundain, sólo se disponen de 15 años de datos por haber sido instalada en 1980.

El listado de las estaciones empleadas así como las características de las mismas se muestra en la Tabla 2.8. Como se aprecia, toda la información ha sido suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología-INM (Centro Meteorológico Territorial del País Vasco) y por el Instituto del Suelo y Concentración Parcelaria del Gobierno de Navarra. Las cotas de las estaciones varían entre 8 y 420 m y la distancia a la línea de costa también varía ampliamente (las de Igeldo, Lasarte y Aeropuerto-Hondarribia se encuentran muy próximas a la costa, mientras que las de Azkoitia, Mutiloa y Elduayen se sitúan en zonas interiores de Gipuzkoa, y la de Ilundain muy próxima a la ciudad de Pamplona-Iruña.

En las Tablas 2.9 y 2.10 se presentan respectivamente las precipitaciones anuales y valores medios en las estaciones pluviométricas elegidas y las precipitaciones mensuales para el periodo considerado.

En la Figura 2.11 se muestra la evolución anual de la precipitación para la 6 estaciones de Gipuzkoa así como las medias correspondientes.

Los vertederos en los que deben registrarse mayores precipitaciones son los situados en la zona oriental de Gipuzkoa: San Blas (1.949 mm de media en la estación de Elduayen) y Ventas (1758 mm de media en Aeropuerto-Hondarribia). Las menores precipitaciones se producen sobre los vertederos de Sasieta y Lapatx (1.389 mm de media en Mutiloa frente a 1.510 mm en Azkoitia). Precipitaciones intermedias se producen en Urteta y San Marcos y Petritegi (1.646 mm de media en Lasarte y 1.582 mm en Igeldo).

Estos valores medios de precipitación deben ser considerados como aproximados a la hora de extrapolarlos a las precipitaciones acaecidas sobre los vertederos dado que en zonas como Gipuzkoa, muy montañosa, pueden darse variaciones de precipitación de cierta importancia en distancias de pocos kilómetros como los existentes entre los vertederos y las estaciones de referencia.

VERTEDERO	NOMBRE-Estación	Código	Organismo	Tipo	Longitud	Latitud	Cota	Instalación
LAPATX	Azkoitia	1037O	I.N.M-País Vasco	P	2:19:48W	43:10:09N	114	1977
SAN MARCOS	San Sebastian-Igeldo	1024E	I.N.M-País Vasco	C	2:02:22W	43:18:24N	259	1927
URTETA	Lasarte-Michelín	1035	I.N.M-País Vasco	PT	2:01:16W	43:16:27N	85	1945
SASIETA	Mutiloa	1025E	I.N.M-País Vasco	PT	2:17:37W	43:02:07N	420	1977
SAN BLAS	Elduayen	1031	I.N.M-País Vasco	P	2:00:07W	43:08:20N	256	1944
PETRITEGI	San Sebastian-Igeldo	1024E	I.N.M-País Vasco	C	2:02:22W	43:18:24N	259	1927
VENTAS	Fuenterrabia-Aeropuerto	1014	I.N.M-País Vasco	CA	1:47:25W	43:21:24N	8	1956
GONGORA	Granja Ilundain	92631	Gobierno de Navarra	CA	2:09:30W	42:46:37N	572	1980

Tabla 2.8. Características de las estaciones meteorológicas de referencia. (P: Pluviométrica; PT: Termopluviométrica; C: completa: precipitación, temperatura, humedad, radiación, dirección y velocidad del viento; A: automática).

Prec. anual (mm)	VERTEDERO *ESTACION PLUVIOMETRICA*						
AÑO	S.MAR.-PETR. *IGELDO*	LAPATX *AZKOITIA*	VENTAS *AEROPUERTO*	URTETA *LASARTE*	SASIETA *MUTILOA*	SAN BLAS *ELDUAYEN*	GONGORA *ILUNDAIN*
1977	1678,3	1365,8	1661	1570,6	1521,1	1747,9	-
1978	1629,8	1720,2	1980,2	1550,3	1425,4	2046	-
1979	2206,3	2010,1	2292	1968,5	1974,1	2741,4	-
1980	1718,7	1689,6	2120,8	1598,3	1555,3	2062,8	1098,8
1981	1802	1311,8	1983,7	1684	1430,3	2086,6	733,9
1982	1652,6	1541,6	1837,6	1675,2	1482,1	2020	878,2
1983	1365	1313,6	1405,8	1431,8	1318,5	1807,1	858,6
1984	1764,9	1657,8	1942	2174,2	1519,3	2015,2	938,6
1985	1352,8	1253,3	1399,9	1331,4	1128,8	1423,1	606,6
1986	1732,6	1469,4	1954	1997,3	1407,5	2196,5	751,7
1987	1409,6	1323,6	1509	1668,4	1222,5	1845,8	744
1988	1350,8	1551	1481,4	1581,5	1382,2	1783,8	910,5
1989	1088,7	1088,2	1212,6	1155,4	903,9	1284,9	703,5
1990	1594	1275,2	1925,8	1708,6	1261,1	1879,9	755,3
1991	1358,1	1602,4	1549,1	1736	1322,2	2120,4	901,3
1992	1668,7	2006,2	1906,5	1804	1643,6	2413,9	956,6
1993	1364,1	1607,3	1311,7	1356,3	1356,2	1710,1	753,9
1994	1748,5	1393,4	2171,6	1640,9	1145,9	1897,4	689,0
Media	1582,5	1510	1758	1646,3	1388,9	1949,0	818,7
Máxima	2206,3	2010,1	2292	2174,2	1974,1	2741,4	1098,8
Mínima	1088,7	1088,2	1212,6	1155,4	903,9	1284,9	606,6
Rango	1117,6	921,9	1079,4	1018,8	1070,2	1456,5	492,2

Tabla 2.9. Precipitaciones anuales y estadísticos principales en las estaciones pluviométricas de referencia.

Prec. mensual (mm)	VERTEDERO *ESTACION PLUVIOMETRICA*						
MESES	S.MAR.-PETR. *IGELDO*	LAPATX *AZKOITIA*	VENTAS *AEROPUERTO*	URTETA *LASARTE*	SASIETA *MUTILOA*	SAN BLAS *ELDUAYEN*	GONGORA *ILUNDAIN*
OCTUBRE	156,4	146,9	168,1	160,9	129,4	187,4	94,1
NOVIEMBRE	154,1	144,1	186,4	183,8	147,8	211	84,6
DICIEMBRE	156,2	169	189,9	188	149,7	237,8	85,7
ENERO	171,2	165,6	171,4	163,4	155,8	204,7	57,4
FEBRERO	118,6	132,2	141,9	124,9	133	154,3	62,6
MARZO	126,7	147,1	145,6	127,2	143,7	172,3	58,7
ABRIL	160,9	181,4	167,6	160,7	151,5	211,7	102,9
MAYO	130,8	116	134,2	132,1	118,3	165,8	85,6
JUNIO	100,1	83	95,7	95,8	80,6	108	54,5
JULIO	86,3	55,5	83,3	80	54,6	88,2	32,9
AGOSTO	112,9	77,4	115,2	117	74,6	114,8	45,9
SEPTIEMBRE	108,4	91,7	146,4	126,2	76,3	131,8	53,7

Tabla 2.10. Precipitaciones medias mensuales en las estaciones pluviométricas de referencia para el periodo 1977-1994.

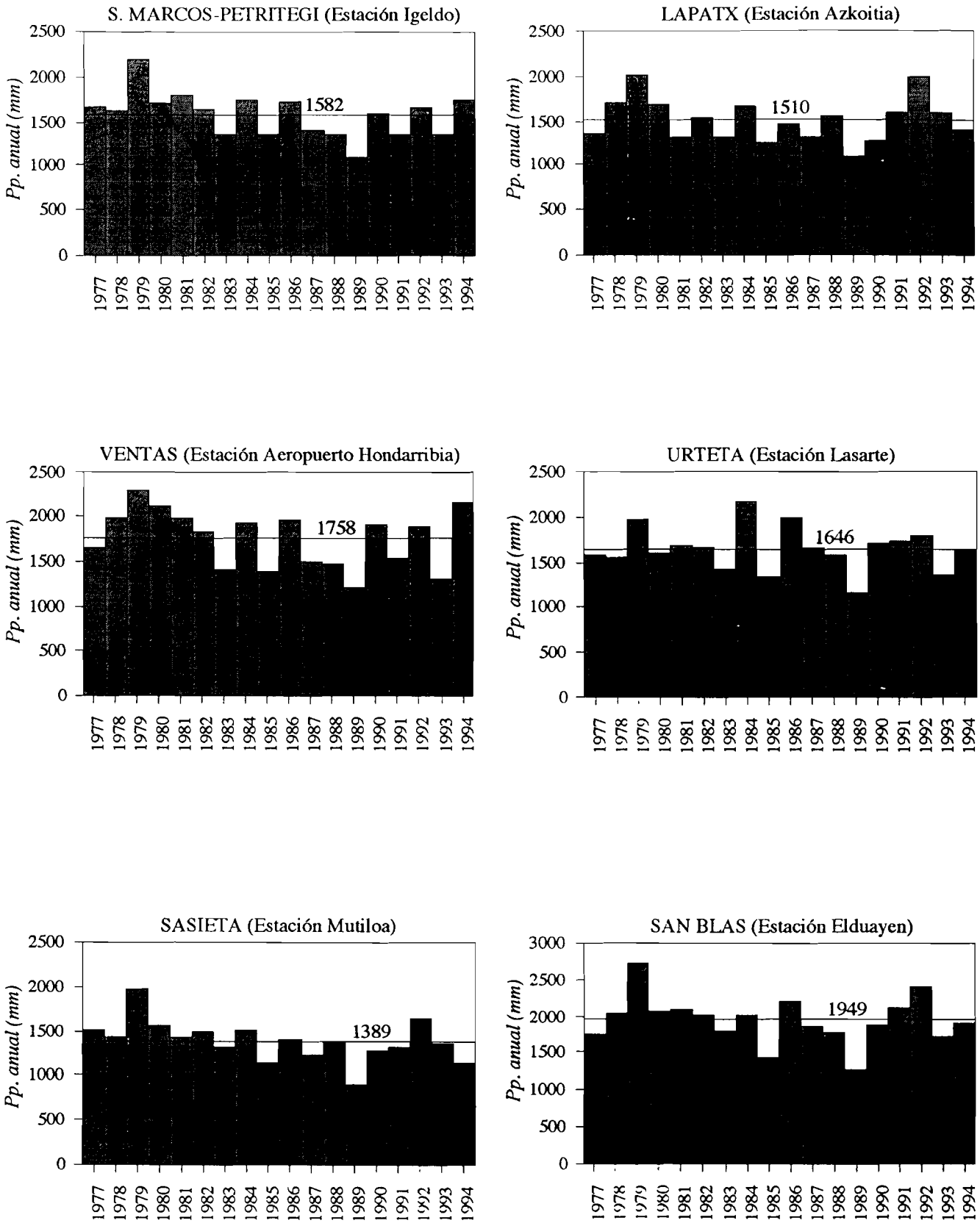


Figura 2.11. Evoluciones de las precipitaciones anuales y valores medios en las estaciones de referencia de Gipuzkoa para el periodo 1977-1994.

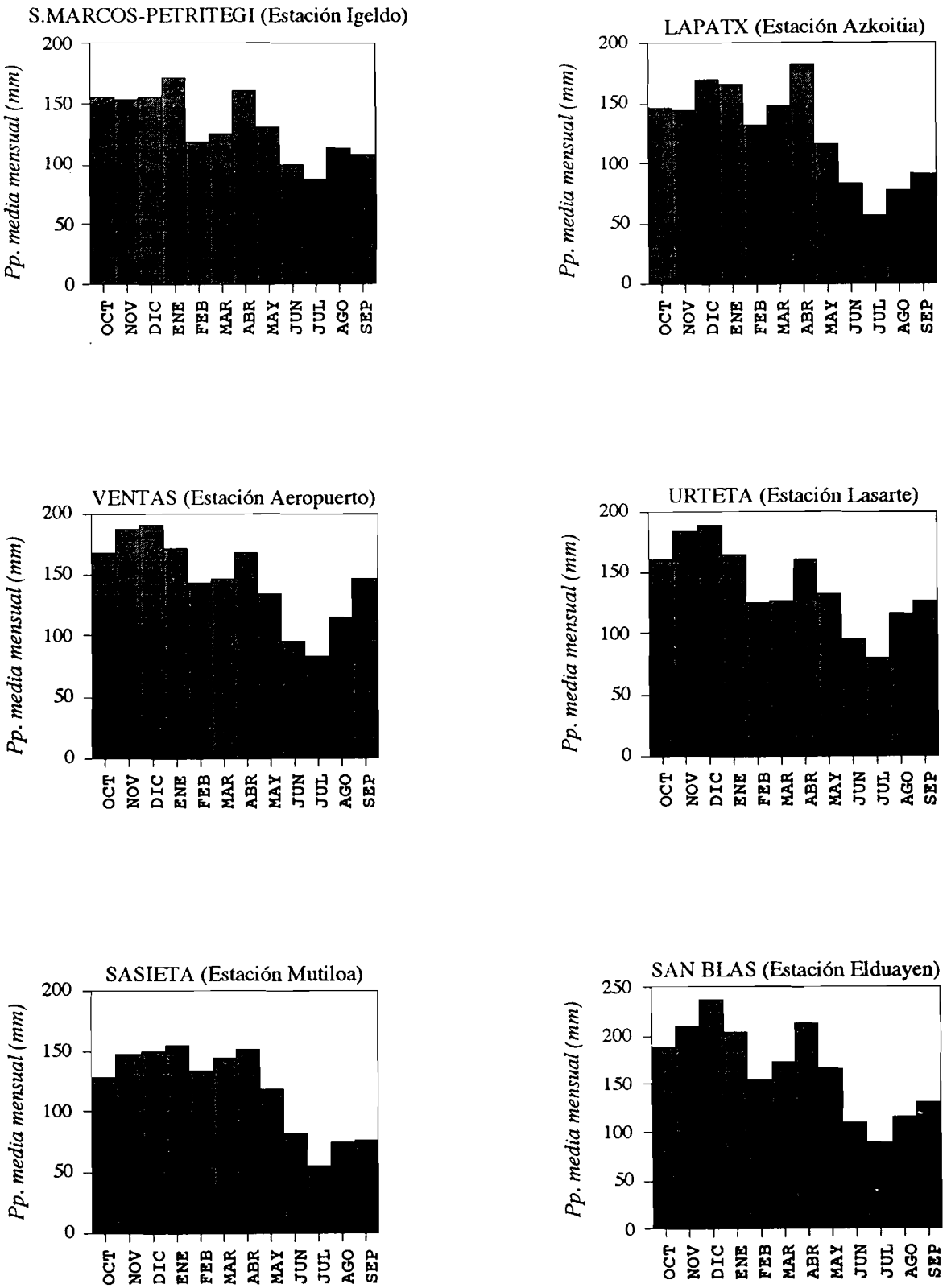


Figura 2.12. Distribución mensual de las precipitaciones registradas en las estaciones de referencia de Gipuzkoa para el periodo 1977-1994.

Los rangos de los valores anuales son muy importantes en todas las estaciones y varía entre 1.456,5 mm en Elduayen y 921,9 mm en Azkoitia. El año más húmedo de la serie es el de 1979 (2.741,4 mm en Elduayen y 1.968,5 mm en Lasarte), y el año más seco el de 1989 (1.284,9 mm en Elduayen y 903,9 mm en Mutiloa).

Las distribuciones mensuales de la precipitación en las estaciones consideradas se presentan en la Figura 2.12.

La distribución mensual es muy similar en las estaciones situadas en la zona oriental de la provincia (Elduayen, Aeropuerto-Hondarribia, Igeldo y Lasarte).

Los 5 meses más lluviosos del año son los de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero y Abril. De estos meses, el más lluvioso es Diciembre, salvo en la estación de Igeldo, en la que es el mes de Enero. Los meses de Febrero y Marzo son sensiblemente menos lluviosos. Los meses menos lluviosos son, con diferencia, Julio y Junio por este orden, seguidos por Agosto salvo en San Marcos en que es Septiembre.

En cambio, la distribución de las precipitaciones en las estaciones de Azkoitia y Mutiloa es en parte diferente: en Mutiloa, los valores entre los meses de Octubre y Abril son más homogéneos. Julio y Agosto son los meses menos lluviosos. En Azkoitia, el mes más lluvioso es Abril seguido de Diciembre y Enero. Los meses más secos son los de Julio, Agosto y Junio.

La evolución anual de la precipitación así como la distribución mensual de la misma para la estación de Ilundain se presenta en la Figura 2.13. Es de destacar la gran diferencia en cuanto al valor medio de precipitación anual (818,7 mm) que existe con respecto a las estaciones situadas en Gipuzkoa, prueba de que los regímenes pluviométricos, y el clima en general, son claramente diferentes. En cambio, en lo que se refiere a la distribución de las lluvias a lo largo del año, se dan ciertas semejanzas con relación a las estaciones de Elduayen, Aeropuerto-Hondarribia, Igeldo y Lasarte. Así, entre los 5 meses más lluviosos en Ilundain están Abril, Octubre, Noviembre y Diciembre, además de Mayo. El mes menos lluvioso también es Julio como en el caso de las estaciones de Gipuzkoa citadas.

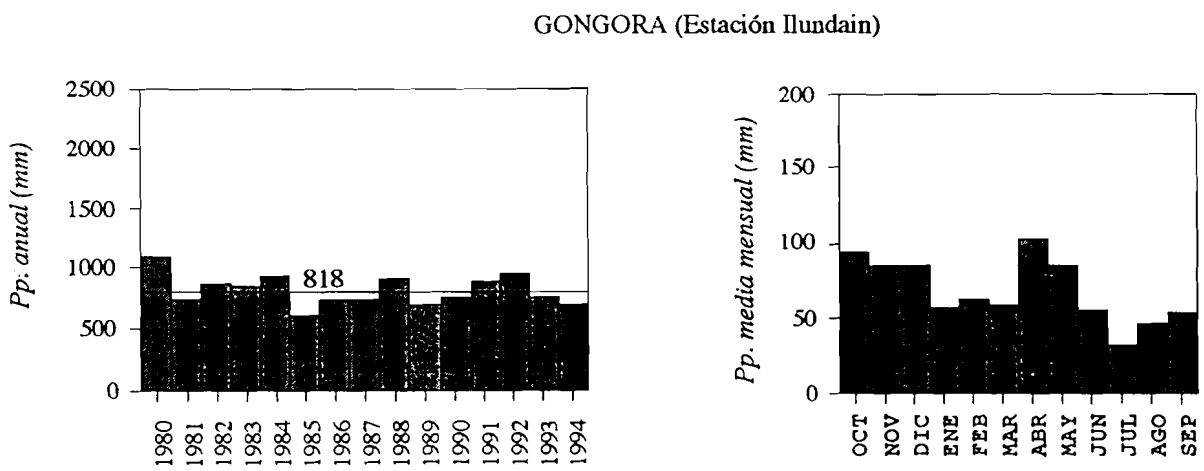


Figura 2.13. Evolución anual y distribución mensual de la precipitación en la estación pluviométrica de Ilundain (periodo 1980-1994).

CAPÍTULO 3

BALANCE HÍDRICO EN VERTEDEROS DE R.S.U.

3.1. Introducción 3.1

3.2. Elementos del balance hídrico 3.2
- 3.2.1. Entradas 3.3
  - 3.2.1.1. Precipitación 3.3
  - 3.2.1.2. Irrigación 3.4
  - 3.2.1.3. Escorrentía superficial 3.5
  - 3.2.1.4. Penetración de aguas subterráneas 3.5
  - 3.2.1.5. Codisposición de lodos y residuos líquidos 3.6
  - 3.2.1.6. Descomposición de la basura 3.6
- 3.2.2. Salidas 3.7
  - 3.2.2.1. Escorrentía superficial dentro del vertedero 3.7
  - 3.2.2.2. Evapotranspiración 3.9
  - 3.2.2.3. Descomposición de la basura y emisión de gas 3.12
  - 3.2.2.4. Percolación en la base del vertedero 3.12
- 3.2.3. Características de almacenamiento de los residuos 3.13
- 3.2.4. Infiltración y percolación 3.19
- 3.2.5. Generación de lixiviados 3.21

3.3. Estimación del balance hídrico en casos concretos 3.24
- 3.3.1. Método básico del balance de agua 3.24
- 3.3.2. Métodos para vertederos en activo 3.26
- 3.3.3. Estimación del balance hídrico en vertederos de zonas áridas y semiáridas 3.31

3.4. Generación de lixiviados en distintos vertederos 3.32

3.5. Conclusiones 3.36

3.1. INTRODUCCIÓN

La gestión y el correcto control de los lixiviados en un vertedero de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.) exige el conocimiento, al menos de forma aproximada, del volumen y ritmos de generación de los mismos en función de los distintos factores que, en cada caso, entran en juego (el control del quimismo de los lixiviados, otra de las cuestiones vitales en la correcta explotación de un vertedero, se considera en un capítulo posterior).

Se hace preciso, por tanto, establecer para cada vertedero su balance hídrico, que consiste, en definitiva, en estimar las entradas y salidas totales de líquidos en el mismo durante un periodo limitado de tiempo. Cualquier desfase entre entradas y salidas originará un cambio en la cantidad de líquidos contenidos en el interior del vertedero. Estos líquidos pueden presentarse como lixiviados libres o como absorbidos por los residuos sólidos existentes. A estas dos formas posibles de almacenamiento se las suele denominar "características de almacenamiento de los residuos" (Knox, 1991).

Ninguna predicción ni interpretación precisa de los volúmenes o niveles de lixiviados puede realizarse si no se conocen dichas características de almacenamiento. Desafortunadamente, estas características son uno de los aspectos que presentan mayores incertidumbres dentro de los que intervienen en los cálculos del balance hídrico ya que cambian en el tiempo en un mismo vertedero y varían también considerablemente según el tipo de residuos vertidos.

A pesar de ello, los balances hídricos se aplican cada vez más en vertederos de R.S.U. al objeto de obtener la máxima información posible sobre:

- Los tamaños ideales de las celdas (tales que la generación de lixiviados sea mínima).
- Predicción de volúmenes y niveles de lixiviados.
- Evaluación de la efectividad de clausuras realizadas.
- Obtención de parámetros hidráulicos de los residuos.

Fundamentalmente se utilizan en el caso de vertederos de nueva construcción o de ampliaciones de vertederos al objeto de dimensionar los sistemas de drenaje de los lixiviados. En cambio, en vertederos en activo se aplican con mucha menos frecuencia, lo que puede ser considerado como una de las más habituales deficiencias en la gestión de los mismos.

El balance hídrico aplicado a vertederos se deriva de la ecuación de balance estándar de agua definida para cualquier sistema hidrológico:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \Delta S$$

donde ΔS es el cambio de la cantidad de líquido, S, almacenado en el sistema (los tres términos se refieren a un periodo limitado de tiempo).

En el caso de los vertederos el líquido puede estar presente, como ya se ha dicho, en forma de lixiviado libre o como agua absorbida por los componentes de los residuos. En la práctica, esta ecuación se reescribe para el cálculo del volumen de lixiviado libre generado en un periodo de tiempo concreto. Una versión típica de esta ecuación se da en el informe Waste Management Paper nº 26 (DoE, 1986):

$$L = W - ETR - aX$$

donde:

L: lixiviado libre producido (m^3/año).

W: precipitaciones más otras entradas de líquidos (m^3/año).

ETR: evapotranspiración real (m^3/año).

a: capacidad de absorción de los residuos (m^3/tm).

X: residuos vertidos durante el periodo considerado (tm/año).

A pesar de que la ecuación enunciada es muy sencilla, la estimación de sus componentes es bastante compleja. Los diferentes métodos existentes para calcular dichos parámetros así como la disparidad de valores propuestos para cada uno de ellos se trata con mayor detalle en el apartado siguiente.

Antes de revisar por separado cada elemento del balance hídrico es interesante resaltar los dos aspectos del mismo en los que actualmente se reconoce una mayor incertidumbre, y que son, por una parte, el referente a la estimación de la percolación y exactitud de los distintos métodos de cálculo, y, por otra, la estimación de las características de almacenamiento de los residuos y su variación durante el proceso de estabilización (los valores actualmente utilizados varían ampliamente y originan grandes diferencias a la hora de predecir e interpretar los volúmenes de lixiviados generados).

3.2. ELEMENTOS DEL BALANCE HÍDRICO

Los factores determinantes de la producción de lixiviados, tanto en lo que respecta al volumen como a sus características, pueden agruparse en los cuatro factores siguientes: entradas de agua al vertedero, características de los residuos depositados, condiciones de la superficie del vertedero y características de los materiales sobre los que se emplaza el vertedero. A su vez, cada uno de estos factores se ve afectado por distintos tipos de condicionamientos, tal como se refleja en la Figura 3.1.

En los siguientes apartados se analizan brevemente, de forma individualizada, los distintos factores condicionantes ya señalados. Los símbolos empleados para cada factor a lo largo de todo este capítulo y por extensión en todo el trabajo son los siguientes:

ENTRADAS:	
- Precipitación	W_P
- Irrigación	W_{IR}
- Escorrentía superficial	W_R
- Penetración de aguas subterráneas	W_{GW}
- Codisposición de lodos y residuos líquidos	W_{RL}
- Entradas por descomposición de la basura	W_B
SALIDAS:	
- Escorrentía superficial	R
- Evapotranspiración Potencial	ETP
- Evapotranspiración Real	ETR
- Por descomposición de la basura y emisión de gas	BG
- Percolación en la base del vertedero	L_i

- Cambios en la humedad almacenada en el interior del vertedero de R.S.U.	ΔS
- Capacidad de campo	U
- Capacidad de absorción	a
- Infiltración	I
- Percolación	P
- Lixiviados generados	L

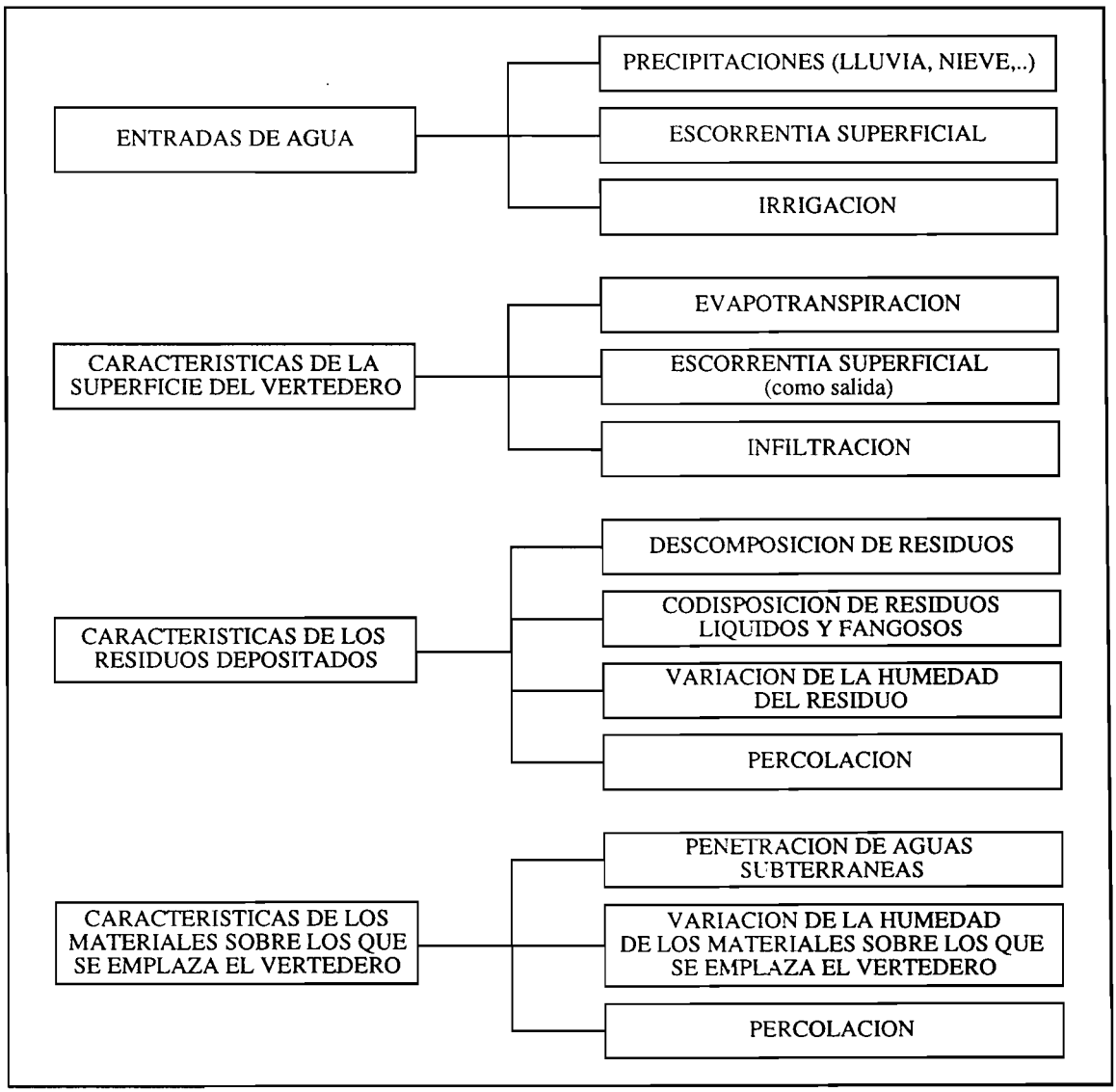


Figura 3.1. Factores determinantes de la producción de lixiviados.

3.2.1. ENTRADAS

3.2.1.1. PRECIPITACIÓN

En la mayor parte de los vertederos, tanto en los situados en zonas húmedas o más o menos áridas, la precipitación directa (W_P) sobre la masa de vertido es la principal fuente de

lixiviados. La irrigación, la entrada de aguas subterráneas y la codisposición de residuos líquidos, salvo casos concretos, no suelen aportar cantidades importantes de agua.

Son cuatro las características de la precipitación que influyen en la generación de lixiviados:

- Cantidad.
- Intensidad.
- Frecuencia.
- Duración.

Así por ejemplo, 300 mm de lluvia distribuidos a lo largo de un año no producirán una significativa cantidad de aguas de lixiviación, mientras que esa misma lluvia caída en forma de cortas e intensas tormentas a lo largo de unos pocos días, generará sin duda un volumen de lixiviados importante.

A la hora de obtener datos de precipitación (se deben de consideran los de la estación más cercana al vertedero), hay que tener en cuenta las diferencias, en ocasiones importantes, que tienen lugar entre áreas a veces muy próximas, especialmente en regiones montañosas. Esta variabilidad es particularmente pronunciada en el caso de eventos individuales de precipitación tales como tormentas de verano, aunque también se da en los valores totales anuales. Viessman *et al.* (1977) informan de diferencias del 20% para eventos individuales medidos por estaciones situadas a varios cientos de metros de distancia. Por esta razón las medidas "in situ" son siempre las que ofrecen mayores garantías. Estos autores incluso recomiendan comparar los resultados de dos o de tres estaciones instaladas en el mismo vertedero y utilizar como válidos los datos medios.

La importancia de los errores en la estimación de las precipitaciones y la necesidad de reducirlos depende del sitio concreto en que se esté trabajando y de los objetivos más o menos precisos del estudio. Así, en zonas áridas donde la pluviometría sea baja y la evapotranspiración relativamente alta pero menor que la precipitación total (W_P), pequeñas diferencias en los valores de W_P considerados originan diferencias mayores en los valores de percolación calculados.

3.2.1.2. IRRIGACIÓN

La irrigación de la superficie de los vertederos con lixiviados generados en los mismos vertederos (W_{IR}), práctica conocida como "recirculación de lixiviados", es una práctica bastante frecuente en áreas de pluviometría baja y media. Entre las ventajas que esta práctica supone destacan:

- La disminución de los costos totales de tratamiento de lixiviados como consecuencia del hecho de favorecerse la evaporación de los mismos durante la irrigación. Maier *et al.* (1995) estiman que puede evaporarse de media un 30% de las cantidades recirculadas anualmente. Los costos también son menores al producirse una homogeneización del quimismo de los lixiviados, lo que permite la aplicación un tratamiento menos complicado.

- Por otra parte, la recirculación acelera la descomposición de las basuras al suponer un aporte tanto de humedad como de microorganismos. Se alcanza bastante antes por tanto el

inicio de la etapa metanogénica del vertedero, reduciéndose en el tiempo los riesgos medioambientales potenciales de las emisiones de los vertederos.

Entre las desventajas de esta práctica destacan la generación de malos olores, la incoherencia de llevarla a cabo durante periodos húmedos (la evaporación es mínima) o con viento (aumento de las dificultades de las operaciones y de los riesgos), la necesidad de un mantenimiento eficiente y el posible riesgo medioambiental incrementado que supone en el caso de que el vertedero no disponga de una buena impermeabilización.

La recirculación se practica normalmente por medio de pozos de recarga y mediante sistemas de riego por aspersión tanto durante como una vez clausurado el vertedero.

3.2.1.3. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Por exigencia de las distintas legislaciones vigentes los vertederos deben de tener sistemas de drenaje que impidan que las aguas de escorrentía superficial que fluyen por fuera de los perímetros de los vertederos penetren en su interior (W_R). Estas cantidades de agua, en áreas de alta pluviometría, pueden ser muy considerables. Errores en el diseño de estos sistemas perimetrales o ausencias de los mismos por problemas puntuales pueden provocar que las cantidades de lixiviados generadas sean sensiblemente más altas que las estimadas, especialmente si los vertederos son de tipo vaguada y están situados en áreas potencialmente receptoras de aguas de escorrentía.

Las tasas de escorrentía superficial están regidas por la topografía de la superficie, vegetación, permeabilidad del suelo, humedad del mismo y drenajes artificiales, siendo probablemente la pendiente superficial y la vegetación los factores más influyentes.

En el apartado 3.2.2.1, en el que se trata el proceso de la escorrentía superficial en el interior del vertedero, se describen los principales métodos utilizados para su cálculo y los problemas a la hora de aplicarlos.

3.2.1.4. PENETRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La penetración de aguas subterráneas (W_{GW}) podrá tener lugar si el nivel freático del terreno circundante, fluctuante, se sitúa, periódica o continuamente, a mayor cota que el fondo del vertedero. En estos casos, el volumen de residuo saturado, el tiempo de contacto y la dirección del flujo influirán en la generación de lixiviados.

Este es posiblemente el aspecto de mas difícil evaluación en vertederos antiguos, siendo necesaria la realización de detalladas investigaciones hidrogeológicas "in situ", pudiéndose efectuar la estimación del volumen de penetración de estas aguas, mediante la aplicación de la ley de Darcy.

En vertederos de nueva construcción no tendría sentido hablar de este proceso ya que las legislaciones vigentes dejan muy claro los condicionantes hidrogeológicos necesarios para considerar apto el supuesto emplazamiento (valores de K del orden de $1 \cdot 10^{-9}$ m/s al menos en un espesor de terreno de varios metros, ausencia de niveles piezométricos cercanos, etc.). Por otra parte, es frecuente la impermeabilización del fondo del vertedero mediante diferentes tipos

de geomembranas que imposibilitarían una fuga significativa de lixiviados así como la entrada de aguas subterráneas.

3.2.1.5. CODISPOSICIÓN DE LODOS Y RESIDUOS LÍQUIDOS

El vertido de residuos líquidos o con alto contenido de humedad (W_{RL}), tales como lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales de origen urbano o industrial, conjuntamente con la basura, se traduce en un aporte adicional de agua que obviamente se traduce en un incremento en el volumen final de lixiviados.

El contenido medio en agua de los lodos producidos en las depuradoras de aguas residuales (lodos deshidratados parcialmente aplicando fuerzas mecánicas: centrifugadoras, filtros banda, filtros prensa) es del 65 al 80% (Wildschut, 1995). Diversos trabajos experimentales han puesto de manifiesto una intensa dependencia directa entre la profundidad a la que está depositado un fango o residuo industrial húmedo y el grado de liberación de agua del mismo. Este fenómeno se origina como consecuencia de los efectos de presión debidos a las capas de residuos situadas por encima del fango en cuestión.

3.2.1.6. DESCOMPOSICIÓN DE LA BASURA

La descomposición de las sustancias orgánicas biodegradables contenidas en los R.S.U. genera un cierto volumen de agua (W_B), que contribuye a la producción de lixiviados.

La extensión e intensidad de la actividad microbiana dependen principalmente de la cantidad y pH del agua intersticial, temperatura, disponibilidad de oxígeno, composición y granulometría del residuo, grado de mezcla y tipos de microorganismos presentes.

En general, la descomposición es mucho mas rápida en condiciones aerobias que en situaciones anaerobias, pudiéndose afirmar que la descomposición aerobia puede reducir la materia volátil y las concentraciones de carbono en un 50% en un periodo de un año.

En un vertedero, cuando la basura es depositada tiene lugar inicialmente una rápida descomposición aerobia que elimina un elevado porcentaje de la materia orgánica contenida. Gradualmente, a medida que se vierten nuevas capas por encima y se va consumiendo el oxígeno disponible, el residuo entra en condiciones anaerobias. Esta situación de descomposición anaerobia puede durar varios años y durante la misma la basura se mineraliza lentamente. En la Figura 3.2 se pueden ver los productos generados en la descomposición aerobia y anaerobia de la fracción orgánica.

La duración y distribución física y temporal de las fases de descomposición aerobia y anaerobia pueden ser muy variables de unos vertederos a otros, e incluso entre zonas de un mismo vertedero, dependiendo de forma importante del sistema de explotación empleado (altura de celdas, frecuencia de grados de compactación, trituración del residuo, cubrición, espesores, ritmos de vertido, etc.).

En general, se puede afirmar que el aporte de agua debido a este concepto en vertederos situados en zonas húmedas es de escasa entidad comparativamente con el de otras fuentes de lixiviados (precipitación, irrigación,..), si bien se trata de un aspecto totalmente decisivo en la caracterización química de dichos lixiviados. En el caso de vertederos situados en zonas

áridas, la contribución en proporción de estos aportes a las cantidades totales de lixiviados son, lógicamente, superiores.

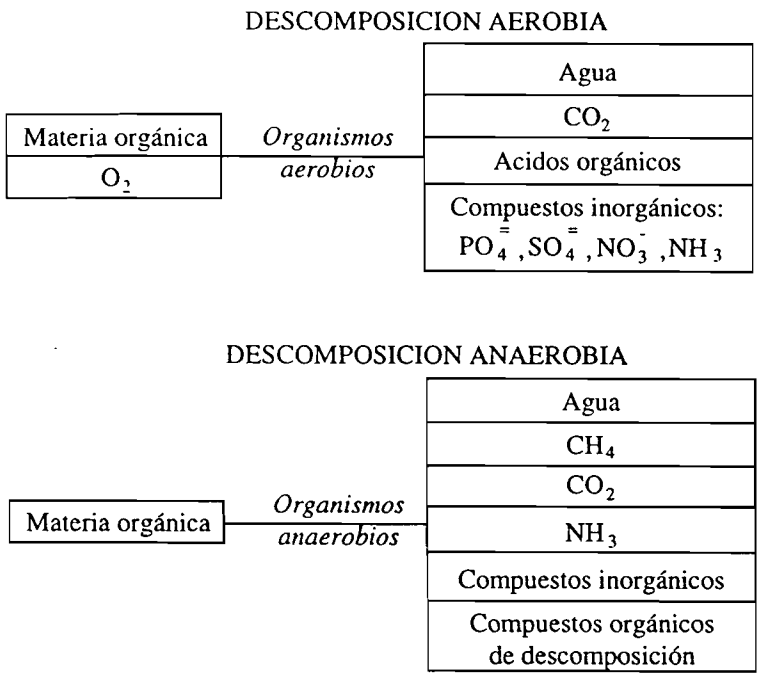


Figura 3.2. Productos principales generados en la descomposición aerobia y anaerobia de la fracción orgánica de los R.S.U. (LABEIN, 1989)

3.2.2. SALIDAS

3.2.2.1. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DENTRO DEL VERTEDERO

En vertederos activos, a efectos prácticos, puede considerarse que no hay pérdidas de agua debidas a escorrentía superficial (R) si se considera que habitualmente su superficie es prácticamente horizontal. La totalidad de los aportes (precipitación exclusivamente, en la mayoría de las ocasiones), se infiltra en los residuos o en los niveles de cubrición. Esto se ha podido comprobar "in situ" en los vertederos controlados en el marco de este estudio durante eventos lluviosos de diferentes intensidades. En cambio, en vertederos clausurados la escorrentía superficial es un factor determinante en el balance hídrico ya que de lo que se trata en estos casos es de que la mayor cantidad posible de agua no percole en el interior del vertedero, favoreciéndose para ello la escorrentía superficial de esas aguas.

Las tasas de escorrentía superficial en el propio vertedero están regidas por la topografía de la superficie, material de cubrición (por su humedad y permeabilidad), vegetación, y drenajes artificiales, siendo probablemente la pendiente superficial el factor más influyente.

La vegetación es también un elemento decisivo, dependiendo su grado de influencia de la naturaleza de las especies presentes, edad, densidad o niveles de agrupamiento, así como de la estación del año.

En realidad, el término escorrentía incluye dos procesos diferentes que suceden en la parte superficial de los vertederos. El primero de ellos es el "flujo superficial", que sucede cuando la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración de la capa superior de la

cobertera. El segundo es el "flujo subsuperficial", que ocurre después de que el agua se ha infiltrado en la cobertera, cuando al encontrar una capa impermeable por debajo (capa de arcillas o una geomembrana) se ve obligada a evacuarse lateralmente. A estas capas se los denomina "niveles de drenaje". Tanto las aguas superficiales como las subsuperficiales se recogen convenientemente y se vierten fuera del ámbito del vertedero, con lo que se evita su percolación en el mismo.

La escorrentía superficial puede determinarse mediante mediciones en campo (por ejemplo cercando áreas de pequeño tamaño, cuyo comportamiento sea extrapolable), simulaciones en laboratorio, o aplicación de procedimientos empíricos o métodos gráficos.

Entre los métodos más utilizados se pueden citar los consistentes en aplicar coeficientes de escorrentía fijos (c) a la precipitación total registrada (método racional). Están basados en la fórmula general:

$$R = c \cdot W_P$$

donde R y W_P son la escorrentía y la precipitación respectivamente.

El coeficiente c varía en función de la naturaleza del suelo, la pendiente del lugar y de la presencia y tipo de vegetación. A pesar de que estos coeficientes fueron normalmente definidos para el caso de eventos de precipitación extremos, su utilización está muy extendida en todas las situaciones. Se han propuesto distintos coeficientes por diversos autores, siendo los más utilizados los propuestos por Fenn *et al.* (1975) y por Blakey (1989) que proponen una tabla resumen a partir de los coeficientes propuestos por diversos autores en trabajos anteriores (Tabla 3.1). Los valores obtenidos de escorrentía serán siempre aproximados puesto que no se tiene en cuenta en este cálculo la humedad inicial del suelo, la duración e intensidad de la lluvia (los coeficientes se refieren a valores anuales), y la rugosidad del terreno.

Tipo de suelo	Pendiente	Coeficiente (c)
	llano (< 2%)	0,05-0,10
Arenoso	suave (2-7%)	0,10-0,15
	fuerte (>7%)	0,15-0,20
	llano (< 2%)	0,13-0,17
Arcilloso	suave (2-7%)	0,18-0,22
	fuerte (>7%)	0,25-0,35

	Pendiente		
Tipo de suelo	< 2%	2-10%	> 10%
Desnudo (arcillas)	0,60-0,60	0,66-0,70	0,70-0,82
Prados y césped (arcilla, silt loam)	0,25-0,35	0,30-0,45	0,35-0,52
Cultivado impermeable	0,40-0,50	0,55-0,60	0,60-0,70
Cultivado permeable	0,10-0,25	0,16-0,30	0,22-0,40

Tabla 3.1. Coeficientes de escorrentía según Fenn *et al.* (1975), izquierda, y Blakey (1989), derecha.

Otro método también ampliamente utilizado es el desarrollado por el Servicio de Conservación del Suelo del Departamento de Agricultura de EE.UU. (Curve number method-SCS) (USDA, 1972). Este método predice la escorrentía total para eventos de precipitación individuales de una duración variable. Para ello utiliza una serie de curvas precipitación-escorrentía definidas en base al tipo de suelo y a la vegetación existente, pendiente y humedad inicial del suelo. Para un correcto uso de este método es necesario disponer de datos de precipitación como mínimo diarios, siendo preferible disponer de datos cada 6 ó 12 horas. Este método es recomendable para calcular fluctuaciones diarias de escorrentía mientras que el método racional lo es para cálculos a más largo plazo (a escala mensual o anual).

3.2.2.2. *EVAPOTRANSPIRACIÓN*

La evapotranspiración es la liberación de agua a la atmósfera como suma de dos conceptos: evaporación y transpiración. Si bien son conocidos los factores que afectan a ambos fenómenos, la evaluación cuantitativa separada de los mismos es realmente difícil por la fuerte interrelación entre ambos. Por ello, normalmente se tratan y estiman de forma conjunta.

• La *evaporación* (E) se define como el proceso físico por el cual un líquido se transfiere al estado gaseoso. En este caso el líquido es el agua y el gas es el vapor de agua. La evaporación del agua a la atmósfera se produce desde superficies de agua libre tales como océanos, lagos y ríos, desde pantanos, desde suelos y desde la vegetación mojada. En el caso de vertederos se produce desde las coberteras intermedias o finales y desde las capas de basura sin cubrir.

• La *transpiración* (T) es el proceso por el que el agua líquida existente en el interior de una planta es transformada por el metabolismo de las planta en vapor de agua que es expulsado al aire que rodea a la planta. El agua existente en la planta entra por las raíces y, pasando a través del tejido vascular a las hojas u otros órganos, sale al aire circundante principalmente a través de los estomas y, a veces, también a través de la cutícula.

• La *evapotranspiración* (ET) es el proceso que incluye la evaporación desde el suelo y la superficie de la planta y la transpiración a través de la planta, ya que ambos se producen simultáneamente en la naturaleza, y no es fácil distinguir en superficies cubiertas por vegetación cual es la cantidad aportada por cada uno de los procesos.

En una superficie de agua libre, la cantidad de evaporación depende de la presión real de vapor de agua en el aire y de la presión de vapor de agua en el aire saturado a esa misma temperatura. A su vez ambas presiones de vapor están afectadas por:

- Radiación solar.
- Las temperaturas del agua y del aire.
- Velocidad del viento.
- Humedad del aire.
- Presión atmosférica.
- Naturaleza, pendiente y orientación de la superficie.

El viento actúa arrastrando partículas de agua de la zona próxima a la superficie, incrementándose así la diferencia entre las presiones de vapor del agua y del aire y aumentando por tanto las tasas de evaporación. La humedad y la presión atmosférica actúan en sentido contrario.

Con respecto a la transpiración, los factores influyentes pueden agruparse de la siguiente forma:

- Factores fisiológicos: Tipo y densidad de la vegetación, estructura de las hojas, estado de las plantas y edad.

- Factores ambientales: Estación del año, temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y humedad del suelo en el caso de que el punto de marchitez o "wilting

point" haya sido alcanzado (se define como "wilting point" el contenido de humedad del suelo por debajo del cual dicho suelo no puede suministrar el agua necesaria para mantener la turgencia en la vegetación, por lo que ésta comienza a marchitarse).

Al manejar el término evapotranspiración se deben diferenciar dos conceptos:

• La *evapotranspiración potencial* (ETP) se define como la evapotranspiración que se produce bajo las condiciones atmosféricas reinantes en un momento dado desde una cubierta vegetal verde, de poca altura, que oculta totalmente el terreno, sin que existan limitaciones en el agua disponible y que ejerce poca o nula resistencia al flujo de vapor de agua. Es, por tanto, el límite superior posible.

• La *evapotranspiración real* (ETR) es la evapotranspiración que puede producirse a partir de una cierta cubierta vegetal en un tiempo dado considerando limitaciones de agua existentes, de fertilidad o debidas a prácticas agrícolas.

Métodos de cálculo de la evapotranspiración potencial

Entre los distintos métodos existentes para calcular el valor de la evapotranspiración potencial (ETP), se pueden destacar dos grupos por ser los que con mayor frecuencia se aplican tanto en Europa como en USA. Por un lado está el método desarrollado por Penman (1948) y sus derivados, y por otro, el desarrollado por Thornthwaite (1954) con sus posteriores modificaciones, principalmente la de Thornthwaite & Mather (1957).

La fórmula de Penman (1948) es compleja y tiene en cuenta las variables físicas que afectan a ETP, tales como velocidad del viento, humedad relativa del aire, presión atmosférica, albedo, temperatura y radiación solar. La de Penman-Monteith (Monteith, 1965) va más lejos, incorporando términos referentes a la vegetación (resistencias estomáticas y aerodinámicas de las especies vegetales). En cambio, la de Thornthwaite es más simple, estando basada en la temperatura media del aire y en el número máximo de horas de sol para una latitud concreta. Ambas fórmulas se definieron inicialmente para aplicaciones agrícolas (determinación de los periodos con déficits de humedad del suelo en los que es necesario planificar los riegos).

La fórmula de Penman debido a las variables físicas que utiliza es muy sensible a los cambios en los valores elegidos para ellas. Dow (1985), aplicándola a vertederos, demuestra que la ETP en invierno es más sensible que la ETP en verano a la velocidad del viento y a la temperatura. Así, una modificación de 0,3 °C en invierno provoca diferencias del 17% en el valor estimado de ETP. En verano, la ETP es más sensible al valor del albedo (cambios de los valores típicos de 0,25 para suelos con césped a 0,1 para suelos desnudos, originan diferencias del 19% en los valores de ETP).

Por otra parte, es muy probable que tanto en vertederos activos como clausurados, estas variables tomen valores diferentes a los habituales en otros medios. Por ejemplo, en vertederos activos, el albedo para áreas descubiertas (con basuras) o con cubiertas temporales, puede no estar bien representado por un valor fijo definido para suelos desnudos. Las temperaturas, por su parte, pueden ser mayores que las medidas en una estación situada fuera del vertedero debido al calor producido en el interior del mismo por efecto de la descomposición de las basuras. Moffat & Houston (1991) citan diferencias de 6 °C entre la temperatura media anual en un vertedero a 0,3 m de profundidad y en un suelo cercano a la

misma profundidad. Coumoulos *et al.* (1995) ponen de manifiesto las diferencias entre la temperatura ambiente y la del interior del vertedero de Ano Liossia (Atenas) a diferentes profundidades en dos casos concretos (Figura 3.3).

Dow (1985) comparó para un vertedero los valores de ETP obtenidos calculados mediante distintos métodos. De este estudio dedujo que los valores anuales totales eran muy parecidos calculándolos mediante Penman-Monteith o Thornthwaite pero se daban grandes diferencias en algunos meses, de hasta 30 mm.

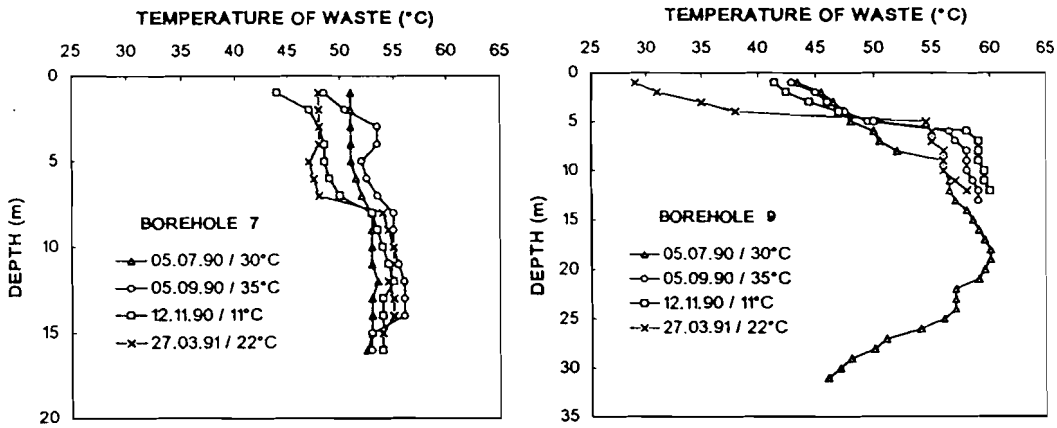


Figura 3.3. Perfiles de temperatura en el vertedero de Ano Liossia (Atenas). Temperatura ambiente: en la leyenda. (Coumoulos *et al.*, 1995).

De estas comparaciones se deduce que los valores estimados de ETP son bastante sensibles según el método elegido, y que cada método por separado también muestra cierta sensibilidad según los valores que se de a las variables requeridas. Por todo ello, puede asumirse que las estimaciones convencionales de ETP pueden tener un error aproximado de unos +20 mm/mes durante el invierno, y de -60 a -160 mm/año o más en términos anuales (Knox, 1991)

Evapotranspiración real

La evapotranspiración real (ETR), que es la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración es, considerando periodos largos (un año por ejemplo), siempre menor que ETP salvo casos muy excepcionales en los que podría ser igual. Sus valores dependen de las características del substrato (suelo, residuos, capas de arcilla), del grado de desarrollo de la vegetación y de la extensión de la misma, y de la cantidad de agua disponible en el suelo y subsuelo.

A lo largo de los últimos años se han desarrollado varios modelos para calcular los valores de ETR, enfocados casi siempre a la planificación de regadíos y sin que se hayan modificado para aplicaciones específicas en vertederos. Normalmente utilizan un parámetro al que denominan de distintas formas (SMD, AWC) según los autores, definido como la máxima cantidad de agua que puede ser extraída por evaporación desde la superficie o por acción de las raíces.

Entre estos modelos destacan dos frecuentemente utilizados en UK por el Servicio Meteorológico. El ESMD (Estimated Soil Moisture Deficit), propuesto por Grindley (1969),

calcula inicialmente el valor de ETP. La ETR es entonces estimada a partir de una serie de curvas que relacionan la ETR, ETP y el SMD (déficit de humedad del suelo) para diferentes usos de suelos. La segunda alternativa es el programa MORECS (Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculations System), desarrollado por Thompson *et al.* (1991), que calcula el valor de ETR de forma más directa a partir de la ecuación de Penman-Monteith. La reducción a ETR a partir de ETP se realiza modificando uno de los términos de la ecuación (la resistencia de la superficie) en función del valor del AWC (capacidad de agua disponible, parámetro equivalente al SMD).

3.2.2.3. DESCOMPOSICIÓN DE LA BASURA Y EMISIÓN DE GAS

Durante el proceso de descomposición anaeróbica de la basura, predominante netamente sobre la aeróbica en la que se producen pequeñas cantidades de agua, tiene lugar un consumo neto de agua. La fermentación anaeróbica de los carbohidratos es el proceso más conocido (AFRC, 1988).

Así por ejemplo, en el caso de la fermentación de la celulosa se consumen 18 g de agua (1 mol) por cada 72 g (6 moles) de C fermentado. Esto puede suponer del orden de 27 l/tm si partimos de producciones de unos 200 m^3 de gas por tonelada de residuos a lo largo de la vida del vertedero. Traducido a consumos anuales podría alcanzar la cifra de 1,34 l/tm suponiendo producciones de 10 m^3 por tonelada y año.

Por otra parte, el gas generado durante los procesos de descomposición se encuentra normalmente saturado de vapor de agua dependiendo su contenido en humedad de la temperatura del gas. Estos contenidos en humedad varían entre 0,001 y 0,005% en volumen, equivalente a 10-50 l de agua por 1.000 m^3 de gas. Estas cifras suponen unos 10 l/tm a lo largo de la vida del vertedero y aproximadamente 0,5 l tm/año suponiendo producciones de gas de 10 m^3 por tonelada y año y temperaturas de 40°C (DoE, 1986).

En general, se considera que estas cantidades de agua (BG) son bastante bajas e incluso pueden ser despreciadas en el caso de que estemos considerando balances hídricos en vertederos en activo. En cambio, en el caso de vertederos clausurados eficientemente, en el que la percolación anual sea por ejemplo menor de 50 mm anuales, estos procesos deben considerarse en su justa medida puesto que afectan significativamente a la cantidad de lixiviados generados.

3.2.2.4. PERCOLACIÓN EN LA BASE DEL VERTEDERO

En vertederos incontrolados o semicontrolados antiguos se ha puesto de manifiesto la existencia de percolación de lixiviados en la base de los mismos en múltiples ocasiones, dando lugar a afecciones medioambientales de graves consecuencias en algunos casos: contaminaciones de suelos y aguas subterráneas (Nicholson *et al.*, 1983; Russell & Higer, 1988; Borden & Yanoschak, 1990; Hallbourg *et al.*, 1992; Kjeldsen, 1993).

En cambio, en vertederos de nueva construcción, al igual que ocurría con la "penetración de aguas subterráneas" (ver 3.2.1.4.), no tendría sentido hablar de este proceso ya que las legislaciones vigentes son muy restrictivas en cuanto a los valores de permeabilidad de los terrenos sobre los que se emplazan los mismos. La frecuente impermeabilización del fondo del

vertedero mediante diferentes tipos de geomembranas reduce la posibilidad de que se produzca una fuga significativa de lixiviados.

No obstante, se hace preciso controlar el buen funcionamiento de los materiales empleados en la impermeabilización del fondo del vertedero mediante la aplicación de programas de control de calidad que se llevarán a cabo previamente y durante la instalación de los mismos, así como durante la explotación del vertedero y su posterior clausura (control de la temperatura existente sobre el nivel impermeable, muestreo de pozos de observación situados aguas abajo de los vertederos, etc.).

3.2.3. CARACTERÍSTICAS DE ALMACENAMIENTO DE LOS RESIDUOS

Si no se tienen en cuenta las características de almacenamiento de humedad de los R.S.U., difícilmente se pueden predecir volúmenes o niveles de lixiviados mediante el cálculo de balances hídricos.

La absorción y cesión de humedad por parte de los residuos ha sido a menudo descrita usando los mismos términos utilizados en las ciencias del suelo. Esto ha originado dos problemas. Por una parte, parte de la terminología ha sido utilizada de forma no del todo correcta, creándose cierta confusión y llegándose a aplicar para referirse a diferentes cosas. Por otra, los procesos de absorción y cesión de humedad son más complicados en los vertederos que en los suelos, lo que hace que incluso aplicando correctamente los distintos términos, no se consiga a veces representar exactamente lo que realmente ocurre.

Los términos utilizados en este estudio se indican en la Figura 3.4 que muestra un diagrama simplificado del proceso de absorción de humedad por parte de los residuos desde los contenidos iniciales hasta la situación de saturación.

• *Saturación* es el estado en el que todos los huecos y poros de los residuos están llenos de líquido. Posiblemente, esta situación no se da en la práctica, aunque exista una zona saturada, debido a la generación de gas y a la presencia de bolsas de aire atrapado que hace que puedan seguir existiendo huecos con aire.

• La *capacidad de campo* (U) se alcanza cuando los residuos contienen la máxima cantidad de humedad que pueden retener en contra de las fuerzas de gravedad. Cualquier nuevo aporte de líquido se traducirá en una cantidad igual de lixiviado.

• La *capacidad de absorción* (a) es la diferencia entre el contenido inicial en humedad de los residuos y su contenido en humedad en la situación de capacidad de campo.

• El *coeficiente de almacenamiento saturado* (S_y) es la diferencia entre el contenido en humedad en la situación de capacidad de campo y el contenido en situación de saturación.

Estas definiciones implican la existencia de dos mecanismos principales de absorción de humedad por parte de los residuos: la absorción física de líquido en el interior del vertedero debida a fuerzas capilares y la absorción de líquido en el interior de los espacios huecos de los residuos dando lugar a zonas localmente saturadas (Blakey, 1989).

La capacidad de absorción debe ser conocida para poder convertir los cálculos del balance hídrico en predicciones de volúmenes de lixiviados. S_y es necesario para poder

convertir las predicciones de volúmenes de lixiviado en predicciones de niveles o para convertir cambios observados de niveles de lixiviados en cambios de volúmenes de lixiviados. Todas estas características, tratadas un poco más en detalle a continuación, son de gran importancia para que los resultados de los balances hídricos sean realmente útiles.

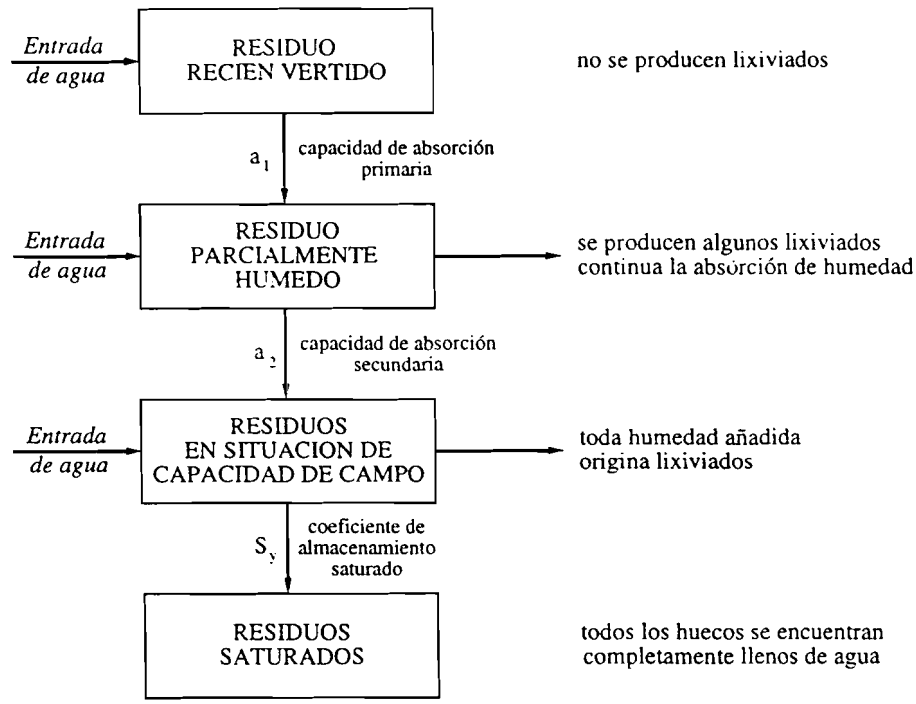


Figura 3.4. Proceso de absorción de humedad por parte de los R.S.U. (Knox, 1991).

Capacidad de campo

La capacidad de campo (U) puede ser estimada con una precisión razonable en el caso de estar trabajando con suelos en base a datos tales como composición, granulometría y densidad. En general presenta una correlación positiva con la densidad y negativa con la granulometría (a menor tamaño de grano medio, mayor valor de U). En cambio, la estimación de este término cuando se trabaja en vertederos (con basuras) es complicada ya que es normal que presente valores diferentes según las zonas del vertedero, pudiendo alcanzarse la capacidad de campo en una zona sin que se haya alcanzado en la gran mayoría del mismo. Este hecho permite que se empiece a generar lixiviado en una situación en la que en la mayor parte del vertedero se esté aún absorbiendo humedad. También pueden existir niveles impermeables (objetos de plástico por ejemplo) que forman depresiones y bolsas que pueden retener líquido indefinidamente.

Por otra parte, al igual que el valor de la capacidad de absorción (a), presenta grandes diferencias a lo largo de los perfiles verticales por causa de la existencia de los niveles de cubrición intermedios que poseen características de almacenamiento de humedad muy diferentes (normalmente muy inferiores) a las de los residuos domiciliarios (Blight *et al.*, 1991). Todo esto hace que no sea adecuado hablar de un único valor para la capacidad de campo en un vertedero.

Algunos autores, entre los que se encuentran Blight *et al.* (1991), no utilizan este término, y consideran directamente la capacidad de absorción, a pesar de que son términos no equivalentes. Blakey (1989), también es de la misma opinión y considera que únicamente podría utilizarse el término de capacidad de campo en el caso de residuos bien triturados en los que la heterogeneidad es menor.

Otro problema encontrado en los estudios de éste y otros autores es la utilización de unidades de volumen por unidad de peso seco de residuo para referirse a estos parámetros, cuando lo normal es utilizar unidades de volumen por unidad de volumen.

	Densidad húmeda (kg/m^3)	Humedad inicial (vol/vol, %)	Capacidad de campo (vol/vol, %)	Capacidad de absorción (vol/vol, %)
Ham (1980)			33,3	
			33,3	
Hughes *et al.* (1971)	No compactado		10	
	Compactado		35	
Fungaroli (1971)		3,9	28,6	24,7
	384	16,4	29,4	13
	408	19,2	32,5	13,3
	410	20,4	34,6	14,2
Rovers & Farquhar (1973)		16,3	29,7	13,3
	315	16	30,2	14,2
	339	21	31	10
Sonoma *Co.*	625	16,7	37,5	20,8
	622	15	28,3	13,3
Walsh & Kinman (1982)	480	16,7	31,8	15,2
	474	16,5	40,4	23,8
	476	16,6	36,8	20,2
				28,3
Wigh (1979)	391	8,3	36,7	
	430	11,7	32,5	20,8
	596	19,2	37,5	18,3
Fungaroli & Steiner (1979)	394	5,2	34,2	29
Holmes (1980)	282	4	29	25
	523	19	39	20
	624	18	37	19
	370 (con trituración)	14	27	13
	504 (con trituración)	13	38	15

Tabla 3.2. Densidad húmeda, humedad inicial, capacidad de campo y capacidad de absorción de R.S.U. (McBean *et al.*, 1995).

Fungaroli & Steiner (1979) comprobaron la relación existente entre los valores de la capacidad de campo con la densidad e incluso propusieron una ecuación:

$$U = 2{,}6 \ln(D) - 14 \qquad \text{donde D = densidad húmeda (kg/m}^3\text{)}$$

En la Tabla 3.2 se presenta una recopilación de los valores obtenidos por distintos autores para la capacidad de campo y otros parámetros de interés.

Capacidad de absorción

La mayoría de los modelos de cálculo consideran que no se produce percolación hasta que no se alcanza la capacidad de campo, pero en la práctica no siempre es cierto, sobre todo en el caso de los vertederos. Este y otros problemas hacen que la absorción de la humedad por los residuos y la percolación de la misma sea un proceso que todavía no ha sido satisfactoriamente modelado. En ocasiones se intenta representar este complejo proceso

considerando dos componentes en la capacidad de absorción (a), la primaria y la secundaria. La capacidad de absorción primaria, a_1, sería la que se produce antes de que se genere alguna cantidad de lixiviado, mientras que la secundaria, a_2, sería la que se produce de forma más gradual, después de que haya comenzado la generación de lixiviado.

Durante la década de los setenta y ochenta se realizaron múltiples estudios experimentales al objeto de cuantificar los valores más habituales de este parámetro. Knox (1991), resume los valores obtenidos en bastantes de esos estudios. La mayoría de ellos fueron realizados en celdas experimentales y en lisímetros trabajando con volúmenes de residuos menores de 9 m^3. Los valores varían considerablemente, estando los más frecuentes comprendidos entre 200-300 l/tm. Trabajando con lisímetros pequeños, 0,2 y 1,6 m^3, se han registrado valores de hasta 570 y 1.300 l/tm respectivamente.

Los valores obtenidos dependen en gran medida de la forma en que han sido obtenidos. En algunos estudios se controlaba la cantidad de agua o lluvia añadida antes de que comenzara la generación de lixiviados. Estas cantidades son equivalentes a la capacidad de absorción primaria, que es uno de los parámetros que más preocupa a los usuarios de balances hídricos en vertederos. Otras veces, los lisímetros eran inundados. En estos casos, la capacidad de absorción máxima, a, se calculaba por diferencia entre las cantidades aportadas y las drenadas. Como era de esperar, los mayores valores se obtenían en los estudios donde los residuos eran inundados o regados intensamente.

Los datos disponibles de capacidad de absorción exhiben una gran variabilidad. Esto es debido en parte a las metodologías empleadas para su cálculo pero también a la lógica variabilidad de factores influyentes como son el contenido inicial de humedad, la composición de la basura, su densidad y la edad de la misma.

El contenido inicial de humedad (a_0) varía frecuentemente entre menos del 20% del peso húmedo hasta valores superiores al 30%. Estas variaciones lógicamente también se reflejarán en los valores de la capacidad de absorción.

A modo de referencia, en la Figura 3.5 se indican los resultados de las determinaciones del contenido en agua efectuadas sobre muestras de basura recogidas a diferentes profundidades en el vertedero de Ano Liossia (Atenas), (Coumoulos *et al.*, 1995). En este caso, a profundidades inferiores a 15 m los contenidos en humedad son del orden de 50-100% del peso seco (33-50% del peso húmedo), disminuyendo progresivamente con la profundidad hasta valores del orden del 40% (28% del peso húmedo) a profundidades de unos 30 m. La humedad dada con respecto al peso húmedo del material, w_h, se relaciona con la humedad respecto al peso seco, w_s, mediante la fórmula: $w_h = w_s/(1+w_s)$. Como se ve en el histograma de la segunda figura, el valor medio y la desviación estándar de una serie de 148 determinaciones es del 72 y 33% respectivamente (41 y 24% si lo referimos a peso húmedo).

La influencia de la composición de las basuras sobre la capacidad de absorción ha sido muy poco estudiada a pesar de que se sabe que esta composición varía bastante entre vertederos y en función de la estación del año y otros factores. Stone (1974) estudió la capacidad de absorción de los distintos tipos de papel y cartón, que es la fracción que más contribuye a la capacidad de absorción total de las basuras. Los contenidos de humedad iniciales variaban entre el 3,6 y el 5,8% del peso seco, mientras que las capacidades de

absorción iban desde el 100% del peso seco para papeles tipo revistas al 700% para el papel tissue.

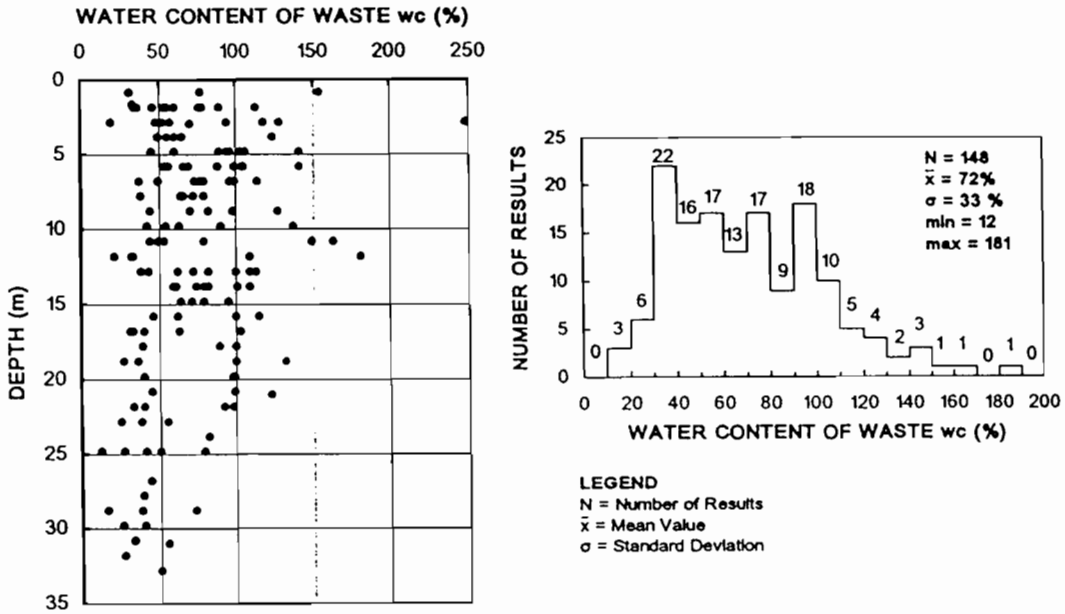


Figura 3.5. Perfiles de humedad en el vertedero de Ano Liossia (Atenas), (Coumoulos *et al.*, 1995).

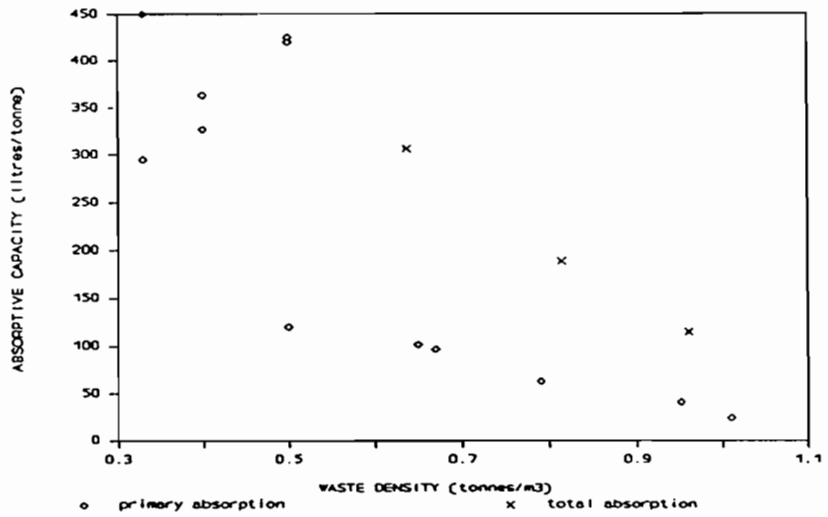


Figura 3.6. Relaciones capacidad de absorción-densidad en R.S.U. (Knox, 1991).

Campbell (1983), trabajando en celdas experimentales de 4.000 m^3, evaluó la relación de la capacidad de absorción con la densidad existente. Así, cita para densidades del orden de 0,5 tm/m^3 valores superiores a 100 l/tm e inferiores a 50 l/tm para densidades de 1 tm/m^3. En la Figura 3.6 se muestran las relaciones densidad-capacidad de absorción en base a este y otros trabajos citados por Knox (1991).

La influencia de la edad del vertedero (grado de estabilización de los residuos así como grado de asentamiento de los mismos) tampoco es muy conocida. El asentamiento progresivo del vertedero es un efecto parcialmente conocido al implicar aumentos de densidad, sin

embargo el de la descomposición de las basuras (ruptura de la estructura fibrosa de papeles y cartones, por ejemplo), es un fenómeno de influencia prácticamente desconocida.

Coeficiente de almacenamiento saturado (Sy)

Hay muy poca literatura referente a este parámetro en vertederos. Los pocos autores que han tratado este tema (Holmes, 1980; Cleanaway Ltd, 1990: recogido en Knox, 1991) citan valores comprendidos entre el 10 y el 20% del volumen inicial para las densidades habituales en los vertederos, 0,7-1 t/m^3. En la práctica, es difícil que un vertedero esté saturado en humedad en su mayoría ya que interesa, por razones de seguridad y de gestión de los lixiviados, que el drenaje en su interior sea eficiente y no se produzca excesiva acumulación de los mismos. Cleanaway Ltd (1990) estima el valor de S_y en base a ensayos de bombeo. En general, estas estimaciones proporcionan valores más bajos que los obtenidos mediante otros métodos en parte debido a que es difícil conseguir caudales de bombeo constantes. Con este método, se han citado valores comprendidos entre el 3 y el 5% del volumen inicial.

A la hora de medir experimentalmente este parámetro hay que tener en cuenta el proceso de histéresis: el valor obtenido mediante adición de líquido puede ser mayor al obtenido mediante drenaje del mismo, ya que debido a la existencia de niveles de baja permeabilidad en la masa de vertido (plásticos por ejemplo), parte de los líquidos pueden no ser drenados.

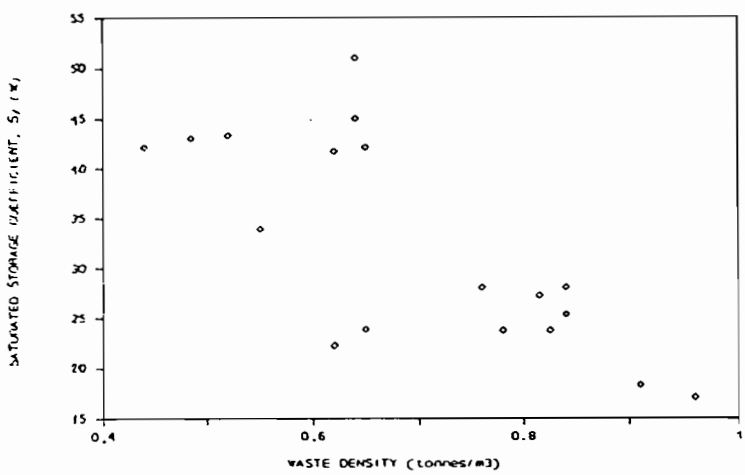


Figura 3.7. Relaciones coeficiente de almacenamiento saturado-densidad en R.S.U. (Knox, 1991).

Los rangos de variación citados son tales que las predicciones o interpretaciones de niveles de lixiviados pueden ser erróneas en un factor de 2, incluso si los demás componentes del balance hídrico se conocen con exactitud. Esto es así porque pequeños cambios en el valor de S_y, por ejemplo debidos a asentamientos en el vertedero, provocan ascensos significativos en el nivel de lixiviados (Knox, 1991). En la Figura 3.7 se muestran las relaciones S_y-densidad en base a estos trabajos.

Conductividad hidráulica (K)

Al igual que en el caso del parámetro anterior, es raro encontrar en la literatura información referente a él. La realización de ensayos de bombeo, método habitual para estimar los valores de la conductividad hidráulica en medios naturales, presenta muchos problemas en

el caso de vertederos con zonas saturadas a causa de la dificultad a la hora de conseguir rendimientos constantes en los bombeos y debido que a que no se cumple exactamente la condición de flujo horizontal que se requiere en estos ensayos.

En general se obtienen valores comprendidos entre 10^{-4} y 10^{-7} m/seg (Tabla 3.3), tal y como proponía Noble *et al.* (1989) en un trabajo de revisión realizado en los Estados Unidos. Los valores más bajos se obtienen en vertederos en los que se ha compactado la basura y en los que las cubiertas intermedias son de materiales de baja permeabilidad. Los rendimientos de los ensayos mejoran normalmente con el tiempo al producirse la limpieza progresiva (desarrollo) del pozo. Estos rendimientos también están condicionados por el espesor de la zona saturada, el grado de compactación y el tipo de cubierta diaria.

Fuente	Detalles	K (m/seg)	Caudal de bombeo
DoE (1978)	R.S.U. + cenizas	1×10^{-4}	
Lloyd *et al.* (1979)	R.S.U. maduros; espesor desconocido	$4\text{-}5{,}5 \times 10^{-5}$	
Cheyney (1983)	R.S.U.	$1{,}5 \times 10^{-4}$	
Canziani & Cossu (1989)	R.S.U. en bruto (0,3 tm/m^3)	1×10^{-4}	
	R.S.U. triturado y compactado	1×10^{-6}	
Emcon Associates (1983)	R.S.U. de 10 años Usando permeámetros de campo	$1\text{-}5 \times 10^{-4}$	
Oweis *et al.* (1990)	30 m de R.S.U. a 0,68 tm/m^3 11 m de zona saturada 7,4 m de descenso en 2,5 días de bombeo	1×10^{-5}	2,7 m^3/h
Empresas operadoras (Knox, 1991)	6 m de R.S.U. a < 0,8 tm/m^3 4 m de zona saturada Sin cubierta diaria	7×10^{-4}	10 m^3/h
	7 m de R.S.U. en bruto y triturado 5 m de zona saturada. No muy compactado	8×10^{-5}	3 m^3/h
	3-5 m de R.S.U. de 30 años (con mucha ceniza) Descompuesto. Sin cubierta diaria saturado en un 90%	$0{,}8\text{-}1{,}1 \times 10^{-4}$	
Ettala (1987)	débilmente compactado. R.S.U. más cenizas	$2{,}1\text{-}2{,}5 \times 10^{-3}$	
	fuertemente compactado. R.S.U.	$1{,}2\text{-}2{,}5 \times 10^{-4}$ $5{,}9 \times 10^{-5}$	

Tabla 3.3. Valores de conductividad hidráulica según distintos autores.

3.2.4. INFILTRACIÓN Y PERCOLACIÓN

Los términos "infiltración" y "percolación" se utilizan cuando se habla de vertederos de forma excesivamente libre y en ocasiones con un significado diferente al que tienen para los hidrólogos y agrónomos.

Estrictamente, infiltración (I) son todos los aportes líquidos que penetran en el suelo o cobertera a través de la superficie, incluidos los que pueden ser retenidos por los mismos (si se encuentran por debajo de la capacidad de campo), y que por tanto pueden ser posteriormente evapotranspirados.

Percolación (P) sería la porción de la infiltración que sigue descendiendo por debajo de la zona en la que es posible la evapotranspiración. Estas cantidades pueden ser interceptadas en gran parte por sistemas de drenaje en el caso de vertederos clausurados, o activos, o pueden continuar descendiendo por las capas de basura.

El contenido de humedad del suelo o cobertera es un factor fundamental en la infiltración. A medida que esta humedad disminuye, la tasa de infiltración aumenta. Es importante también el estado de humedad de las capas inferiores (basura), ya que obviamente el ritmo de infiltración de agua en el suelo es dependiente del ritmo de liberación de la misma hacia niveles inferiores. Cuando estas capas inferiores no están saturadas, la tasa de infiltración está solo regulada por la permeabilidad de las capas superiores. Cuando las capas inferiores están saturadas, la tasa de infiltración está regulada por la capa de menor permeabilidad.

A título ilustrativo, se presenta la Figura 3.8 en la que se puede ver la variación de la humedad de un suelo o basura a partir de una situación de saturación. En ausencia de vegetación, la humedad desciende hasta la capacidad de campo ("field capacity"), mientras que con presencia de raíces, baja hasta el "wilting point" (comienzo del marchitamiento) por efecto de la evapotranspiración.

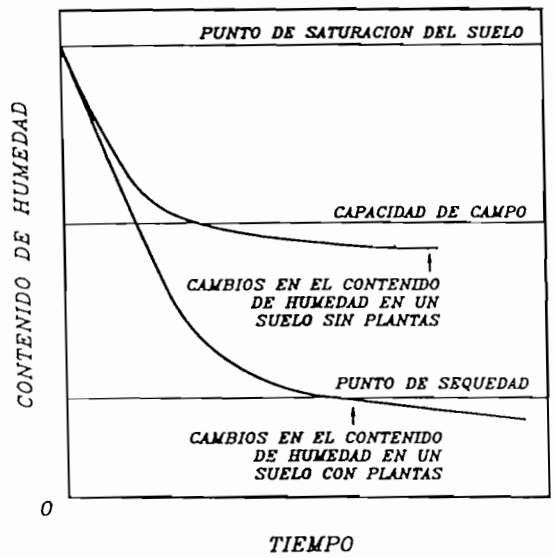


Figura 3.8. Variación de la humedad para suelos con y sin vegetación (LABEIN, 1989).

En la Figura 3.9 se presenta la capacidad de almacenamiento de agua para varios tipos de suelos (Lutton *et al.*, 1979). El agua "disponible" (por la vegetación) es la que se encuentra entre el punto de sequedad (wilting point) y la capacidad de campo. Por encima del punto de sequedad, la evaporación real coincide con la potencial (disponibilidad total de agua). Por debajo de este punto, la evaporación real es sensiblemente menor. Para determinar la capacidad de almacenamiento de agua es importante conocer la profundidad hasta la que llegan las raíces de las especies vegetales presentes, en caso de que existan.

Tanto si el suelo (o la basura) está saturado, como si no lo está, la estimación de la tasa de percolación se puede realizar en base a la ley de Darcy (en el segundo caso, modificada), siendo la permeabilidad del medio uno de los parámetros que con mayor peso entran en juego. Normalmente, la percolación (P) se calcula por simple diferencia entre las entradas totales, W, (precipitaciones casi exclusivamente) y el valor de la evapotranspiración real (ETR), que a su vez, como ya se ha indicado, se calcula a partir de la evapotranspiración potencial.

$$P = W - ETR$$

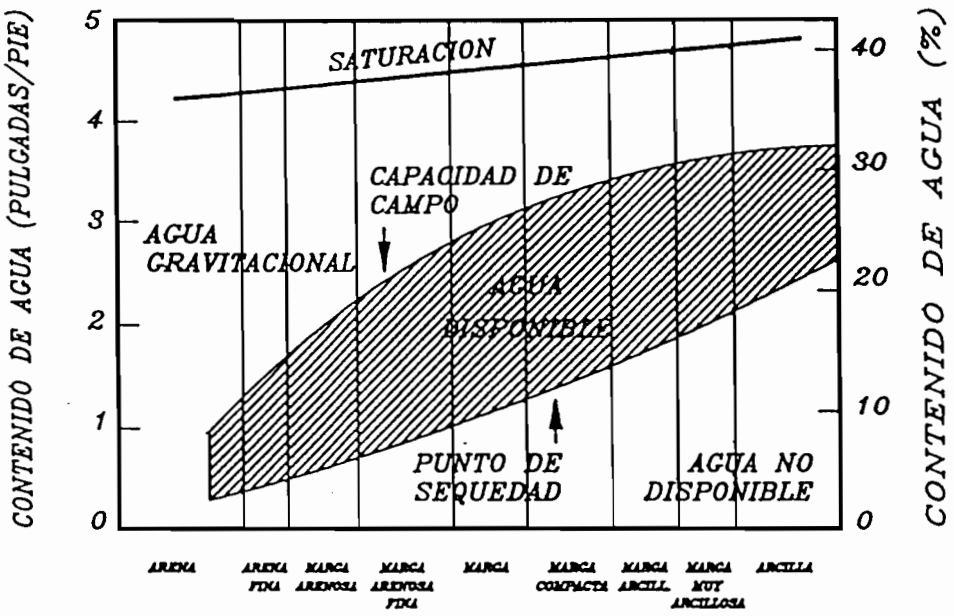


Figura 3.9. Almacenamiento de agua para varios tipos de suelos (Lutton *et al.*, 1979).

Cada uno de estos elementos citados introduce ciertas incertidumbres en los valores obtenidos de percolación. Estas dudas pueden deberse a la utilización de datos pluviométricos procedentes de estaciones lejanas, mal situadas o situadas a cotas muy diferentes; o también a errores inherentes a los métodos de cálculo empleados y a la elección de los coeficientes necesarios (elección de los valores del albedo, de la temperatura del vertedero, de los déficits de humedad,..).

Los valores de precipitación, albedo y déficits de humedad considerados pueden generar errores tanto por defecto como por exceso. Las anomalías de Penman en invierno y el fenómeno de vías preferenciales de flujo pueden hacer infravalorar la percolación en unos 100-150 mm/año en áreas húmedas (UK). Por su parte, las altas temperaturas en algunos vertederos (altas ETR), si no se consideran convenientemente, pueden ocasionar sobreestimaciones de la percolación en unos 60-160 mm/año o incluso más durante fases activas. Como se ve, algunos de los errores pueden contrarrestarse entre ellos (Knox, 1991).

3.2.5. GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

En líneas generales, se puede decir que el volumen de lixiviados es coincidente con el volumen de agua percolada (a través del suelo y la basura), siempre que la penetración de aguas subterráneas, los cambios de la retención de humedad en el interior del vertedero y el resto de aportes de agua no sean significativos. El volumen de lixiviados, o volumen de percolación (en suelo y/o en basura), también puede ser definido, en estas condiciones, como la cantidad de agua que excede la capacidad de campo. En primer lugar sucederá la percolación del suelo o material de cubrición, si lo hay, y a continuación la de la masa de basura.

Cabe indicar, sin embargo, la posibilidad de que se generen en la basura caminos preferenciales que posibiliten la aparición de lixiviados antes de la superación de la capacidad de campo. Si bien esto puede ocurrir en determinadas ocasiones, parece ser que a nivel global no presenta una elevada significación.

Entre los casos en los que se ha observado la existencia de este proceso destacan los citados por Pearce (1988) y por Dow (1985). En el primero de ellos se observó, experimentando en lisímetros, que en ciertos eventos de lluvia, un porcentaje importante de ella percolaba rápidamente a pesar de existir un déficit de humedad importante en el suelo. En el segundo de los casos se observó en el vertedero activo de Pitsea, en Essex (UK), cómo durante varios meses de verano los niveles de lixiviado aumentaron anormalmente a pesar de los déficits de humedad existentes en las capas superficiales. Bengtsson *et al.*, (1994), también confieren cierta importancia a este proceso e incluso llegan a afirmar que es un proceso habitual en vertederos jóvenes que presentan zonas con huecos (macroporos) más o menos intercomunicados caracterizadas por tener conductividades hidráulicas superiores a la matriz circundante. En vertederos más antiguos, los macroporos están parcialmente cerrados y el agua percola preferentemente a través de la matriz que está cerca de alcanzar la capacidad de campo. Las fluctuaciones de caudal son menores que en el caso de vertederos jóvenes.

La Tabla 3.4 recoge de forma desarrollada el balance global de agua en un vertedero de R.S.U. Este balance también se puede expresar de forma continua mediante la ecuación:

$$L = (W_P + W_{IR} + W_R + W_{GW} + W_{RL} + W_B) - (R + ETR + BG + L_i) \pm \Delta S$$

Si partimos de la base de que el vertedero ha sido correctamente diseñado (impermeabilización del vaso del vertedero y sistemas de drenaje de aguas de escorrentía superficial totalmente eficientes), los valores de W_{GW}, L_i y W_R serán nulos. Si la superficie del vertedero se considera horizontal, R también será nulo. En este caso, si no se produce recirculación de lixiviados y no se vierten residuos líquidos (W_{IR} y W_{RL} también nulos), como normalmente ocurre, y dado que los valores de W_B y BG son claramente despreciables frente al resto de factores, la ecuación anterior puede expresarse de la forma resumida:

$$L = W_P - ETR \pm \Delta S$$

A partir de todos los factores analizados se llega a la estimación final del volumen de aguas de lixiviación generadas. En la Figura 3.10 se presenta por último y de forma gráfica un modelo generalizado de formación de lixiviados en el que se pueden diferenciar los siguientes pasos:

- Las precipitaciones (W_P) caen sobre la superficie del vertedero. Parte de ellas pueden convertirse en escorrentía (R).

- Parte de W_P se infiltra (I) en la superficie (residuos sin cubrir, cobertera intermedia o cobertera final).

- Parte de I se evapora de la superficie o transpira por la acción de la vegetación de la cobertera en caso de que exista (ETR).

- Parte de I queda almacenada en la cobertera (la diferencia entre la capacidad de campo y el contenido en humedad inicial), ΔS_S.

- El resto de I percola a través de la basura una vez que el material de cobertura alcance su capacidad de campo. La tasa de percolación a través de la masa de residuos estará controlada por las características de retención y transmisión de la misma.

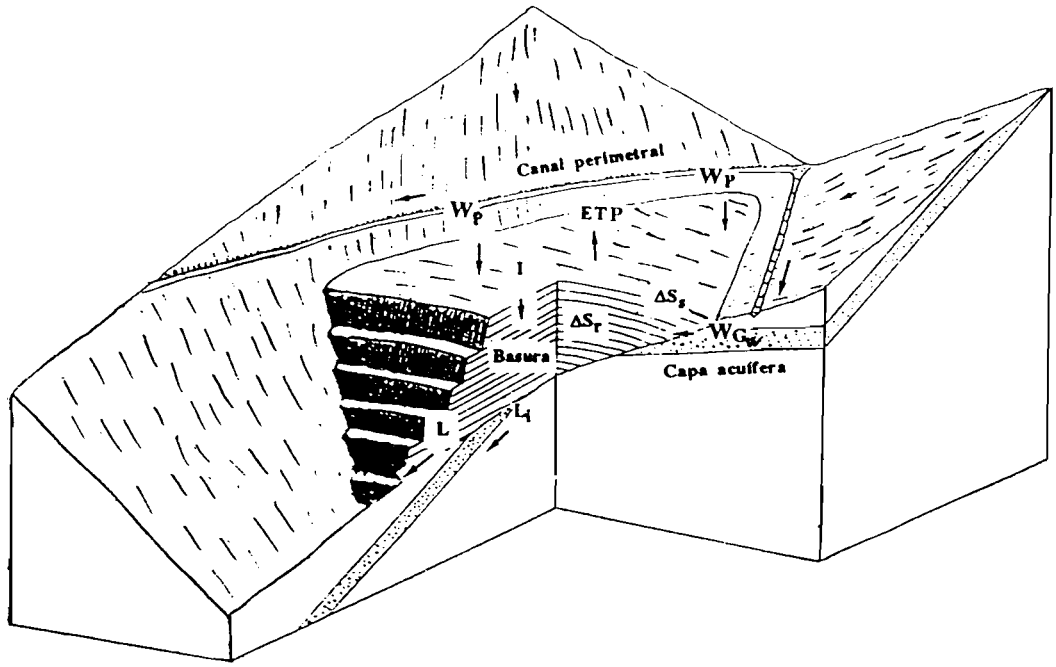


Figura 3.10. Representación esquemática del balance hídrico en un vertedero de R.S.U.

$$W_P + W_R + W_{IR} = I + R$$

donde:
W_P: Entrada de agua debida a la precipitación
W_R: Entrada de agua debida a la escorrentía superficial de áreas adyacentes
W_{IR}: Entrada de agua por irrigación o recirculación de lixiviados
I: Infiltración
R: Salida de agua del vertedero por escorrentía superficial

$$P_s = I - ETR - \Delta S_s$$

donde:
P_s: Percolación en el suelo o material de cubrición
ETR: Evapotranspiración real
ΔS_s: Cambio en la humedad almacenada por el suelo o material de cubrición

$$P_r = P_s + W_{RL} + W_B - BG - \Delta S_r$$

donde:
P_r: Percolación en la basura
W_{RL}: Agua aportada por residuos líquidos o lodos
W_B: Agua aportada por la descomposición de los residuos
BG: Agua consumida por la descomposición de los residuos y generación de gas
ΔS_r: Cambio en la humedad almacenada por los residuos

$$L = P_r + W_{GW} - L_i$$

donde:
L: Generación de lixiviados
W_{GW}: Penetración de aguas subterráneas
L_i: Percolación en la base del vertedero

Tabla 3.4. Balance global teórico de agua en un vertedero de R.S.U.

- Los lixiviados (L) se producirán en el momento en que al menos una porción de la masa de basura alcance, a su vez, su capacidad de campo. En ese momento, cualquier aporte adicional de humedad causará el movimiento y liberación del lixiviado.

La penetración de aguas subterráneas (W_{GW}) y la percolación en la base del vertedero (L_i), sólo serán apreciables cuando la base del vertedero no haya sido impermeabilizada correctamente y el nivel piezométrico regional supere en algún momento la cota más baja del vertedero.

3.3. ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN CASOS CONCRETOS

3.3.1. MÉTODO BÁSICO DEL BALANCE DE AGUA

El método más ampliamente utilizado para estimar la producción de lixiviados en vertederos ha sido el denominado "método del balance de agua" que fue desarrollado en la década de los cuarenta y cincuenta para cuantificar la evapotranspiración por Thornthwaite & Mather (1957), y posteriormente adaptado por Mather & Rodríguez (1978) y por Fenn *et al.* (1975), (recogido por McBean *et al.*, 1995), para el caso particular de vertederos. Se trata de un método muy sencillo que puede ser aplicado manualmente o mediante una simple hoja de cálculo. Como hipótesis de partida considera que en el vertedero no se producen entradas de agua debidas a escorrentía superficial de áreas adyacentes, recirculado de lixiviado, penetración de aguas subterráneas o por codisposición de residuos líquidos. Así mismo, se considera que todos los movimientos de agua son verticales y que en el momento de iniciar el cálculo se está en situación de capacidad de campo. Los pasos de que consta se resumen a continuación:

- Ecuación de partida:

$$W_P = P + R + ETR \pm \Delta S$$

donde:

W_P : precipitaciones.
P: percolación.
ETR: evapotranspiración real.
ΔS: cambios en la humedad almacenada en el interior del vertedero.

- Se utiliza como variable primaria para el cálculo de la evapotranspiración potencial la media mensual de las temperaturas medias diarias. Con ella se calcula un índice de calor mensual, según la fórmula:

$$i = (t / 5)^{1.514}$$

A partir de los 12 valores mensuales se calcula el índice de calor anual mediante la simple suma de los mismos:

$$I_y = \sum i$$

- La Evapotranspiración potencial (ETP) para cada mes se calcula mediante la fórmula:

$$ETP = 16 \cdot (10t / I_y)^a \cdot \left(\frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}\right)$$

donde:

ETP = evapotranspiración potencial media en mm/mes.

t = temperatura media diaria del mes.

I_y= índice de calor anual.

$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1.792 \cdot 10^{-5} I + 0{,}49239$

N = número máximo de horas de sol, según la latitud.

d = número de días del mes.

Tanto los valores de i (en función de t) como los de ETP (en función de t e I_y) están tabulados.

- En caso de que exista escorrentía superficial dentro del vertedero (si está clausurado, ya que si está en activo se considera normalmente que la escorrentía es nula), ésta se calcula multiplicando los valores de precipitación mensual por los de los coeficientes definidos por los distintos autores (Tabla 3.1).

- Se calcula la infiltración (I) restando a las precipitaciones mensuales los escorrentías mensuales calculadas.

- Se calcula el agua disponible para almacenarse en el suelo mediante la resta I-ETP para cada mes y se obtiene las pérdidas de agua acumuladas sumando sucesivamente los valores negativos de I-ETP ($\sum$ neg (I-ETP)).

- Se determina el almacenamiento de humedad (S) del suelo mensual de la forma:

1. Se determina la humedad inicial del suelo según el espesor y características del mismo.

2. Se asigna ese valor al último mes que cumpla la condición I-ETP > 0.

3. Se determina el valor de S para los siguientes meses con I-ETP < 0 (estos valores están tabulados; conocido el valor acumulado para cada mes de I-ETP, se obtiene el valor de S).

4. Para los meses con I-ETP > 0, se suma el valor I-ETP al del mes precedente sin que se pueda sobrepasar el valor de la capacidad de campo. En caso de que se supere, se considera dicho valor.

- Se calcula el cambio de almacenamiento de humedad (ΔS) para cada mes restando al valor de cada mes el del mes precedente.

- Se calcula el valor de la evapotranspiración real (ETR) de la forma:

1. Meses húmedos I-ETP $\geq$ 0: ETR = ETP
2. Meses secos I-ETP < 0: ETR = ETP + (I-ETP-ΔS)

- Por último, se calcula la percolación resultante (lixiviados generados) de la forma siguiente:

1. Meses húmedos I-ETP ≥ 0: P = (I-ETP-ΔS)
2. Meses secos I-ETP < 0: P = 0

Este método, en ocasiones ligeramente modificado, ha sido ampliamente utilizado por autores de todo el mundo. En el Estado español lo han utilizado Ansola (1989) para comparar teóricamente la producción de lixiviados en vertederos de áreas climáticas diferentes sin contrastar las estimaciones con datos reales. También Ansoleaga (1992) lo utiliza en el vertedero de Gordexola (País Vasco), obteniendo valores muy similares a los reales. Lu *et al.*, (1981) lo utilizaron en 5 vertederos de diferentes áreas geográficas obteniendo diferencias con los valores reales de entre el 1,32 y el 0,53%. En cambio, Gee (1981), cita errores en las estimaciones del 94%.

3.3.2. MÉTODOS PARA VERTEDEROS EN ACTIVO

Según Gösselle *et al.* (1993), los balances de agua en vertederos en activo, con importantes extensiones sin cubrir (con residuos recién vertidos) o con cubiertas intermedias sin vegetación, no pueden ser comparados a los realizados en vertederos clausurados y revegetados.

En los vertederos en activo que se encuentren en esta situación es necesario calcular la evaporación que se produce desde las zonas sin cubrir o con cubiertas intermedias (ETR_{sc}). Esta ETR_{sc} se acepta que es menor que la ETR que se produciría en caso de que el vertedero hubiese sido ya revegetado (Luisley *et al.*, 1982; Shaw, 1983; Maione, 1978). Además, en las zonas sin cubrir se considera que los valores de ETR_{sc} deben ser menores que los correspondientes a suelos desnudos (Mesu, 1982; Spillmann, 1986; Stegmann 1986, Ehrig, 1987; trabajos, los 4, escritos en alemán y citados por Göselle *et al., 1993*). Desgraciadamente, la obtención de los valores de ETR_{sc} es muy complicada al existir muy pocas fórmulas para su cálculo en la literatura específica.

Gösselle *et al.* (1993) y Nolting *et al.* (1995), teniendo en cuenta esta problemática, estiman los balances hídricos en 6 vertederos de diferentes países de la Unión Europea (UE.) aplicando la fórmula resumida:

$$W_P = ETR_{sc} + R + L$$

Precipitación = Evaporación (zonas sin cubrir)+ Escorrentía superficial + Lixiviados

Estos autores consideran la evaporación y la escorrentía superficial como los parámetros del balance hídrico más importantes e investigan sobre nuevas fórmulas para su cálculo. No consideran, sin embargo, los demás parámetros que intervienen en el balance.

Para el cálculo de la escorrentía superficial proponen una nueva fórmula basada en el método racional:

$$R = c_{Tfn} \cdot P_e \cdot A_{Tfn}$$

donde:

R: escorrentía

c: coeficiente de escorrentía

P_e: precipitación efectiva (W_P - b), que se calcula usando diferentes umbrales (b) para la precipitación

A: área

T_{fn1}: área de pendiente 0 - 5%

T_{fn2}: área de pendiente 5 - 10%

T_{fn3}: área de pendiente > 10%

La idea básica es la de incluir la diversidad de áreas con pendientes diferentes en el cálculo para conseguir una mayor exactitud y un uso diferenciado de coeficientes. La cuantificación de la evaporación real se realiza de acuerdo a Spillmann (1986) y a la fórmula de Turc modificada (Shaw, 1983) para evaporación en suelos desnudos tal y como la usa Baldi *et al.* (1991).

Spillmann encontró una forma razonable para cuantificar la evaporación real a partir de ensayos en lisímetros. Parte de la fórmula de Haude para calcular la evapotranspiración potencial e introduce dos limitaciones a los posibles resultados. Estas limitaciones consisten en considerar como evaporación máxima diaria el valor de 5 mm y en limitar la máxima evaporación después de una lluvia seguida de un periodo seco asumiendo diferentes almacenamientos máximos de agua en el suelo (soil water storage-SWS), entre 10 y 30 mm.

En la Tabla 3.5 se presentan los resultados de estos trabajos. En dos de los vertederos no se considera la escorrentía superficial por ser de importancia mínima (superficies planas). Como valor máximo de almacenamiento de agua se considera en todos los casos la cantidad de 20 mm. En el vertedero de Valdemingómez no ponen limitaciones a los valores máximos de evaporación dadas las características climáticas existentes. Según estos autores, los resultados son totalmente coherentes con las cantidades medidas de lixiviados aunque no llegan a cuantificar el % de error de las estimaciones.

		Precipitación	Evaporación	Escorrentía	Lixiviados
Valdemingómez	1990-91 (mm)	307,5	218	58-136	1,8
(España)	% P	100	71	19-44	0,6
Nuenen	1991-92 (mm)	823,4	364	200-285	263,3
(Holanda)	% P	100	44	24-35	32
Summerrston	1990-91 (mm)	997,8	323-501	254-304	19,3
(Inglaterra)	% P	100	32-50	25-30	1,9
Karlsruhe	1991-92 (mm)	748	388-416	261-298	-
(Alemania)	% P	100	52-56	35-40	-
Kalbach	1990-92 (mm)	2.243	927	-	989
(Alemania)	% P	100	41	-	44
Fladsa	1989-92 (mm)	1.726	647	-	973
(Dinamarca)	% P	100	37	-	56

Tabla 3.5. Resultados de los balances hídricos en 6 vertederos de R.S.U. de la U.E. (Nolting *et al.*, 1995).

La fórmula de Turc modificada (Shaw, 1983) para evaporación en suelos desnudos ha sido utilizada en vertederos por diferentes autores (Baldi *et al.*, 1991; Canziani & Cossu, 1989) antes de ser utilizada por Gösselle *et al.* (1993) y Nolting *et al.* (1995).

Balbi *et al.* (1991) la utilizaron para estimar el balance hídrico en un vertedero de Italia en el que se vertían cantidades importantes de lodos industriales. Utilizan como fórmula de partida:

$$L = W_P - E_S - R - \Delta U_w$$

donde:

W_P: precipitación en 10 días.

E_S: evaporación en 10 días.

R : escorrentía en 10 días.

ΔU_w: variación de la humedad almacenada en 10 días; tiene en cuenta la capacidad de campo y la pérdida de agua por parte de los lodos.

La evaporación la calculan mediante la mencionada fórmula de Turc:

$$E_S = \frac{W_P + w}{\sqrt{1 + \frac{W_P + w}{L}}} \qquad \text{donde } L = \frac{t_{10} + 2\sqrt{I_g}}{16}$$

donde:

w: máxima cantidad de agua que puede evaporarse de un suelo en 10 días en ausencia de precipitación (varía entre 10 mm para suelos húmedos y 1 mm para suelos secos).

t_{10}: temperatura media del aire en 10 días.

I_g: radiación solar real en 10 días (cal/cm^2 día); si no existen medidas directas puede calcularse a partir del n° de horas de sol.

En este vertedero la escorrentía superficial es despreciable al estar el vertedero en activo, sin cubrir, y ser la superficie prácticamente horizontal. Los resultados obtenidos son considerados como muy coherentes con los medidos pero tampoco llegan a cuantificar el % de error, limitándose a presentar los resultados gráficamente mediante datos acumulados.

Canziani & Cossu (1989), también proponen un modelo para cuantificar los lixiviados generados en vertederos en activo o clausurados. Estos autores consideran todos los procesos importantes que intervienen en el balance hídrico en vertederos: escorrentía (método racional o n° de curva SCS), evapotranspiración (calculan el valor potencial aplicando Thornthwaite, y el real teniendo en cuenta la progresiva deshidratación del suelo en periodos secos), evaporación en áreas en activo (fórmula de Turc indicada anteriormente), percolación a través de la cubierta final si existe (aplicando la ley de Darcy), almacenamiento de líquido en los residuos (valores contrastados de capacidad de campo). Estos autores comparan las predicciones de su modelo con los lixiviados generados durante tres años en un vertedero holandés. En dos de los tres años se subestimaba la producción de lixiviados durante los meses de verano. En los meses de invierno, el modelo sobreestimaba las cantidades generadas entre un 50 y un 100%.

Los parámetros considerados por Canziani & Cossu se indican en el modelo hidráulico de la Figura 3.11 en el que se resume la secuencia seguida para estimar los lixiviados generados, en donde P: precipitación; ET: evapotranspiración real; R*: escorrentía procedente

de áreas exteriores; R: escorrentía; A: contenido de agua del suelo de cobertera; U: capacidad de campo del suelo de cobertera; G: agua infiltrada desde el suelo de cobertera; K_B: conductividad hidráulica de Darcy; L: lixiviados; H_B: espesor de la capa de baja permeabilidad; H_S: zona saturada; V_R: contenido de agua de los residuos; V_{Rmax}: capacidad de campo de los residuos.

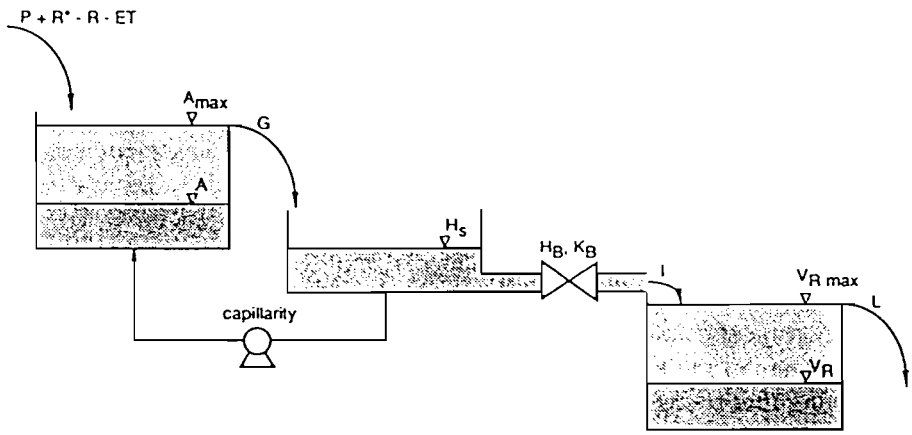


Figura 3.11. Modelo hidráulico resumen propuesto por Canziani & Cossu (1989).

Este modelo tiene de novedoso el método de cálculo de la evapotranspiración real. En los periodos secos, en los que los valores reales son menores que los potenciales, tienen en cuenta la progresiva deshidratación de la capa superior del vertedero (cubierta definitiva o temporal) aplicando la fórmula de Benfratello (1961):

$$\frac{da}{dl} = a \cdot m$$

donde:

a: A/U, es el cociente entre la cantidad de agua real en el suelo y la capacidad de campo en ese suelo.

l: L/U, donde L representa en este caso el déficit hidrológico, L = (W_P-R)-ETR.

m: coeficiente de resistencia a desaturación.

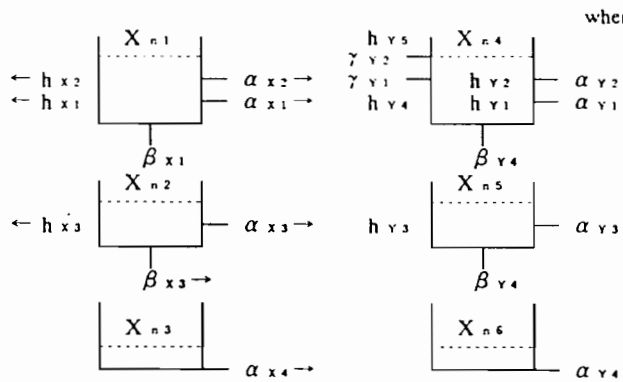
El valor de a se obtiene a partir de a_o, tras haber integrado la primera ecuación (a_o representa el valor de A/U al comienzo del periodo seco). Conocido a se calcula A. La diferencia ΔA entre dos meses consecutivos durante el periodo seco sumado a (W_P-R) representa la evapotranspiración real (ETR):

$$ETR_{seco} = W_P - R + \Delta A$$

Furuta *et al.* (1995) utilizan en Japón en distintos vertederos el método del "tank model" (modelo de tanque) para cuantificar las cantidades de lixiviados. Este modelo (Sugawara, 1974; recogido por Furuta) se utiliza comúnmente en ese país para el análisis de la escorrentía en pequeñas cuencas vertientes, y se basa en la sustitución de áreas de drenaje por tanques que disponen de salidas laterales (escorrentía) y salidas inferiores (percolación). Los resultados de la aplicación de este modelo fueron muy buenos, con coeficientes de correlación entre los

datos medidos y los calculados entre 0,62 y 0,86. En la Figura 3.12 se presenta el método de predicción práctico que proponen para la cuantificación de lixiviados.

El principal problema de este modelo es que el significado físico de algunos de estos parámetros no está muy claro y deben ser calculados fundamentalmente mediante prueba-error. La evapotranspiración se calcula mediante el método de Blaney-Criddle y el contenido de agua inicial en base a las precipitaciones registradas durante el año anterior al cálculo.



where: $Q(m^3/day)$ = total leachate quantity
$Qx(m^3/day)$ = leachate quantity from landfill sections
$Qy(m^3/day)$ = leachate quantity from completed landfill sections
$Qz(m^3/day)$ = surface runoff
$Ax(m^2)$ = catchment areas on the landfill sections
$Ay(m^2)$ = catchment areas on the completed landfill sections
$\alpha_{X1}, \alpha_{X2}, \alpha_{X3}, \alpha_{X4}, \alpha_{Y1}, \alpha_{Y2}, \alpha_{Y3}, \alpha_{Y4}$ = parameters for leachate runoff
$\beta_{X1}, \beta_{X2}, \beta_{X3}, \beta_{Y1}, \beta_{Y2}, \beta_{Y3}$ = parameters for leachate infiltration
γ_{Y1}, γ_{Y2} = parameters for surface runoff
$h_{X1}, h_{X2}, h_{X3}, h_{Y1}, h_{Y2}, h_{Y3}, h_{Y4}, h_{Y5}$ = depth of runoff
$X_{n1}, X_{n2}, X_{n3}, X_{n4}, X_{n5}, X_{n6}$ = depth of storage
→ = modifying the parameters

Models for landfill sections — Models for completed landfill sections

$$Qx = \{\alpha_{X1}(X_{n1}-h_{X1})+\alpha_{X2}(X_{n1}-h_{X2})+\alpha_{X3}(X_{n2}-h_{X3})+X_{n3}\alpha_{X4}\} \times Ax/1{,}000 \quad (3)$$

$$Qy = \{\alpha_{Y1}(X_{n4}-h_{Y1})+\alpha_{Y2}(X_{n4}-h_{Y2})+\alpha_{Y3}(X_{n5}-h_{Y3})+X_{n6}\alpha_{Y4}\} \times Ay/1{,}000 \quad (4)$$

$$Qz = \{\gamma_{Y1}(X_{n4}-h_{Y4})+\gamma_{Y2}(X_{n4}-h_{Y5})\} \times Ay/1{,}000 \quad (5) \qquad Q = Qx+Qy \quad (6)$$

Figura 3.12. Método para la predicción del volumen de lixiviados (Furuta *et al.*, 1995).

Straka *et al.* (1993) no cuantifican directamente las cantidades de lixiviados generados, sino que calculan el tiempo que tarda el vertedero en alcanzar la saturación, momento a partir del cual todo aporte de agua produce una cantidad equivalente de lixiviado. Utilizan para ello la fórmula siguiente e incluso confeccionan un gráfico en el que se relaciona el tiempo de saturación con la precipitación y la evapotranspiración (Figura 3.13).

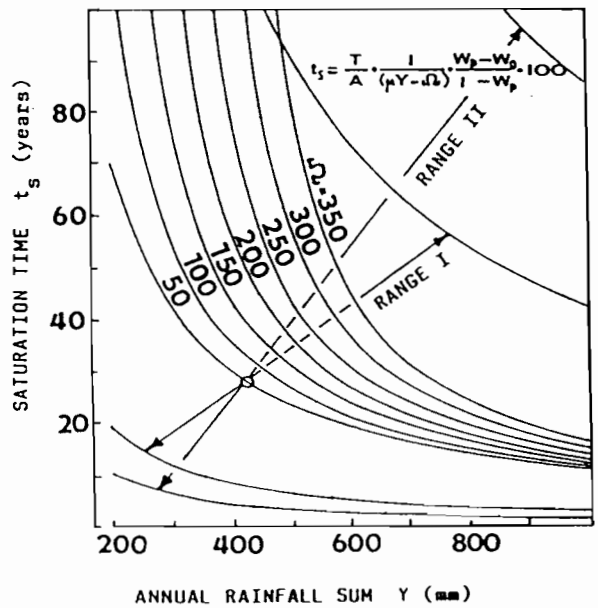


Figura 3.13. Cálculo teórico del tiempo de saturación de un vertedero (Straka *et al.*, 1993).

$$t_s = \frac{T}{A} \cdot \frac{1}{(\mu \times W_P) - ETR} \cdot \frac{U - U_o}{1 - U} \cdot 100$$

donde:
t_s: tiempo de saturación del vertedero (años).
T: capacidad total del vertedero (10^3 tm).
A: área del vertedero (ha).
U: capacidad de campo.
U_o: contenido inicial de humedad.
μ: coeficiente de infiltración.
W_P: precipitación total anual (mm).
ETR: evapotranspiración real media anual (mm).

3.3.3. ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN VERTEDEROS DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

La aplicación de la ecuación del balance hídrico en vertederos situados en zonas áridas o semiáridas ha dado numerosos problemas hasta el punto de ser considerada inútil para el objetivo propuesto (Parsons, 1995).

Este autor hace un repaso exhaustivo de las limitaciones existentes en su utilización llegando a la conclusión de que, en estas zonas, donde los mecanismos de recarga y movimiento de la humedad en los vertederos son muy diferentes a como lo son en zonas húmedas, los resultados obtenidos no reflejan ni siquiera por aproximación los valores reales medidos. Por la misma razón, el modelo HELP (Schroeder *et al.*, 1994), basado en los mismos factores, tampoco simula con una mínima exactitud las cantidades de lixiviados generados. Ante esta situación, y la consiguiente ausencia de herramientas para evaluar la generación de lixiviados, propone establecer medidas conservativas (extremar las precauciones y trabajar con márgenes de seguridad) en el momento de elegir el emplazamiento del vertedero, de diseñar los sistemas de drenaje de lixiviados y aguas de escorrentía, y a la hora de definir los sistemas de operación.

Entre las limitaciones más importantes cabe destacar:

- La cuantificación de los datos requeridos de entrada, especialmente los de pérdidas por evapotranspiración y los referentes a la capacidad de almacenamiento de agua por parte del vertedero. La evapotranspiración, que en estas zonas está condicionada más por la disponibilidad de agua que por la energía disponible, varía en gran medida según la técnica utilizada para su cálculo, introduciendo gran incertidumbre en los resultados de lixiviados calculados. La capacidad de almacenamiento también varía a lo largo del vertedero y a lo largo del tiempo.

- La ausencia de frecuentes verificaciones con datos reales. A pesar de que se lleva trabajando más de 25 años en estos temas, siguen prevaleciendo los estudios experimentales en lisímetros y pequeñas celdas, sin obtenerse siquiera correlaciones aceptables.

- El hecho de que en estas áreas, la generación de lixiviados esté más controlada por eventos de lluvia cortos y de gran intensidad que por modelos de lluvia mensuales o anuales. La existencia de caminos preferenciales de flujo ha sido puesta más que de manifiesto.

3.4. GENERACIÓN DE LIXIVIADOS EN DISTINTOS VERTEDEROS

A pesar de que durante los últimos 15 años los vertederos de R.S.U. han sido objeto de intensa investigación en relación a múltiples aspectos (evaluación del impacto ambiental que ocasionan, descripción de los procesos que tienen lugar en su interior, gestión del gas y de los lixiviados generados, etc.), llama poderosamente la atención el escaso interés prestado al control y estudio de la evaluación de los caudales de lixiviados generados.

Como ha quedado patente en los apartados anteriores, los aspectos teóricos que intervienen en la formación de los lixiviados han sido considerados por numerosos autores. Sin embargo, todo este interés no se ha visto reflejado en la práctica en la gestión diaria de los vertederos en activo (o clausurados).

Es relativamente frecuente encontrar en la literatura referencias sobre estudios llevados a cabo en lisímetros o celdas experimentales en los que se pretende obtener resultados extrapolables a vertederos reales, pero la gran cantidad de factores que intervienen en la generación de lixiviados en el caso de los vertederos reales introduce excesivas incertidumbres en la utilización de los resultados obtenidos.

Por otra parte, algunos de los autores que presentan gráficas de evolución de lixiviados, no informan con un mínimo detalle sobre las características del vertedero en cuestión (tipo de explotación, tipos y cantidades de residuos vertidos, diseño de los sistemas de drenaje) y sobre las precipitaciones registradas sobre el mismo, por lo que resulta difícil extraer conclusiones válidas de tales estudios. Todo esto hace que la información disponible en la actualidad sobre generación real de lixiviados en vertederos de residuos urbanos sea muy limitada.

	Precipitación (P) (mm/año)	**Lixiviados** (% P)	**Lixiviados** (m^3/ha día)	**Observaciones**
1	652	15,1	2,7	
2	651-998	12,2-29,8	3,2-8,1	Clausurado y revejetado
3	651-998	16,9-21,6	3-5,9	
4	632	16,3-18,3	2,8-3,2	
5	509	16,8	2,3	
6	556-1.057	15,6-19,6	2,6-5,1	
7	770	3,3-7,2	0,7-1,1	Muy joven
8	571	31,3	4,9	
9	571	4,4	0,4	Clausurado
10	501-729	25-48,2	5,3-8,3	
11	662	58,2	10,6	
12	632	32,3	5,9	Clausurado y revejetado
13	565-655	39,2-42	6,1-7,5	
14	636	19,9-21,4	3,5-3,7	

Tabla 3.6. Producción de lixiviados en vertederos de Alemania (Ehrig, 1983).

De los pocos autores que presentan datos sobre estos aspectos destaca Ehrig (1983, 1988) que compara las cantidades de lixiviados generados con las precipitaciones registradas para 21 vertederos de Alemania (Figura 3.14). También presenta una tabla con los resultados más importantes (Tabla 3.6) y una figura en la que se muestra para dos vertederos en concreto (Künsebeck y Senne), la evolución semanal de los lixiviados generados en relación a la

precipitación acontecida (Figura 3.15). Sin embargo, este autor no interpreta los datos representados, dejando sin explicar el motivo de los bajos caudales registrados entre las semanas 25-50 y 75-100 (primera gráfica), en las que se registran precipitaciones importantes. Llama la atención en esta gráfica los rápidos aumentos y descensos de caudal condicionados sin lugar a dudas por los eventos de precipitación. En la segunda de las gráficas, los aumentos de caudal también son rápidos pero los descensos son bastante más progresivos indicando una mayor capacidad de retención de agua en este segundo vertedero.

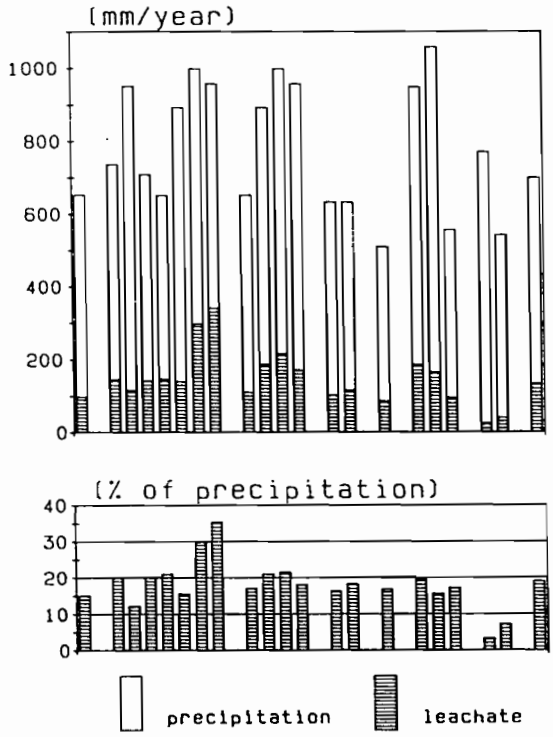


Figura 3.14. Precipitaciones y lixiviados generados en distintos vertederos (Ehrig, 1988).

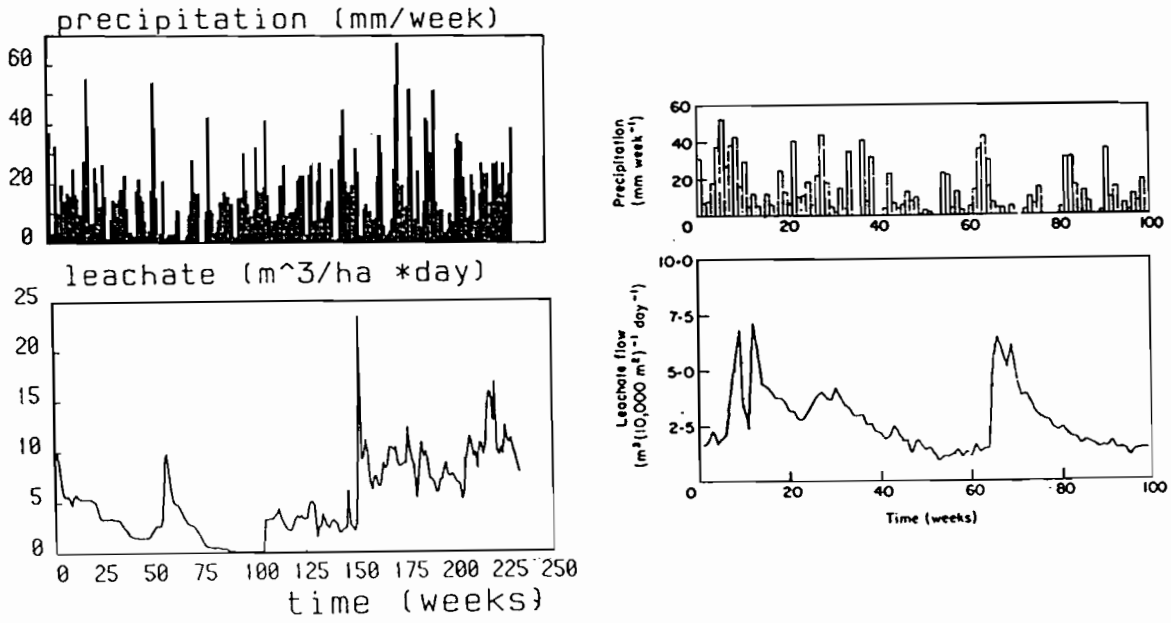


Figura 3.15. Generación de lixiviados en los vertederos alemanes de Künsebeck y Senne (Ehrig, 1988).

De la Tabla 3.6 y de la Figura 3.14 pueden deducirse los volúmenes de lixiviados medios como porcentajes de precipitación. Como valor más normal puede considerarse que los lixiviados suponen del orden de un 20 a un 30% de las precipitaciones registradas, disminuyendo estas cantidades en el caso de vertederos jóvenes.

Hartmann & Hoffmann (1990) también relacionan los volúmenes de lixiviados diarios producidos en otro vertedero de R.S.U. de Alemania (no especifican el nombre del vertedero en cuestión, aunque sí su extensión, que es de 6 ha) con las precipitaciones registradas (Figura 3.16). En este caso no se aprecia tan claramente la dependencia de los caudales con las precipitaciones.

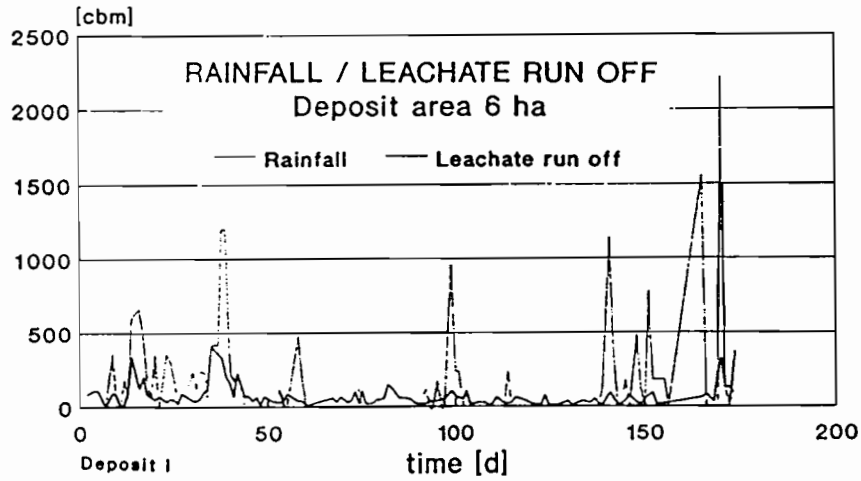


Figura 3.16. Relación lixiviados generados-precipitación para un caso concreto (Hartmann & Hoffmann,1990).

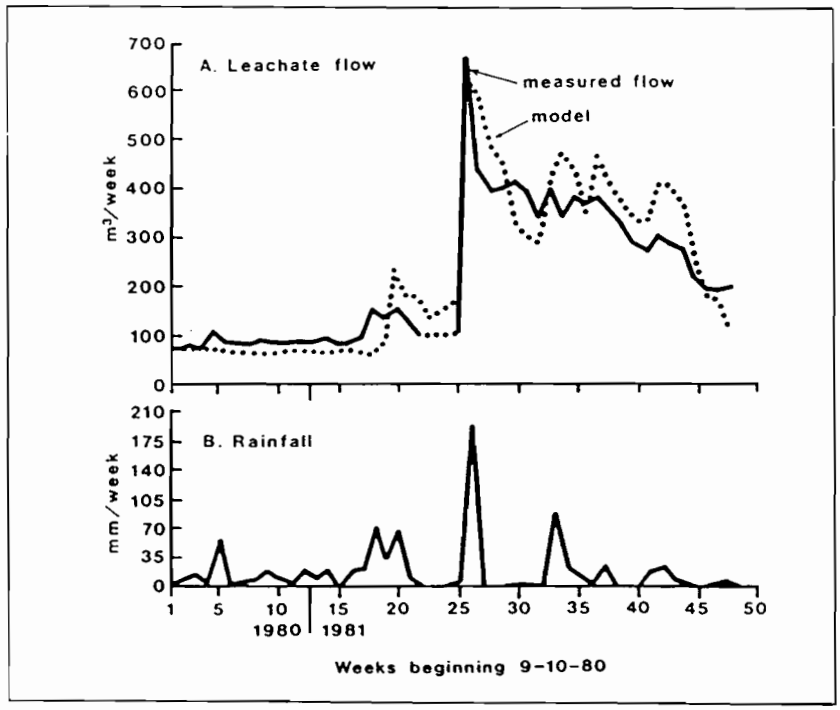


Figura 3.17. Lixiviados generados en el vertedero de Lucas Heights (Syndey, Australia), (Parsons, 1995).

Knight, 1983 (en Parsons, 1995), compara de igual forma que los autores anteriores los lixiviados medidos en el vertedero de Lucas Heights (Sydney, Australia), con las precipitaciones (Figura 3.17). Los aumentos de caudal son totalmente correlacionables con los eventos de precipitación (cuando estos últimos son superiores a 30 mm/semana), llamando la atención los altos caudales que se mantienen tras el fuerte incremento sucedido durante la semana 25 ocasionado por un periodo de fuertes lluvias.

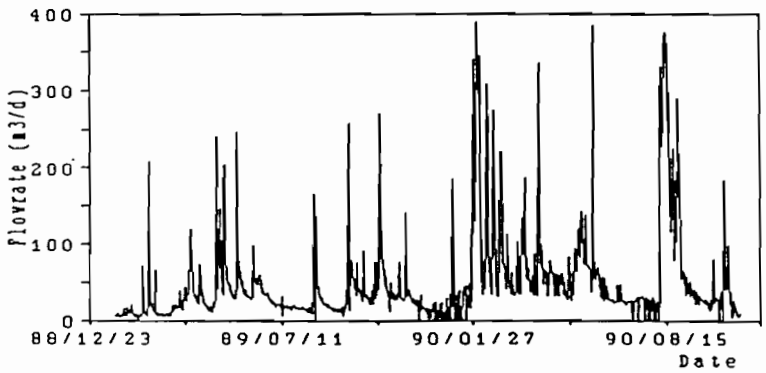


Figura 3.18. Evolución diaria de lixiviados en el vertedero de Chicopee (Massachusetts, USA), (Iza *et al.*, 1991).

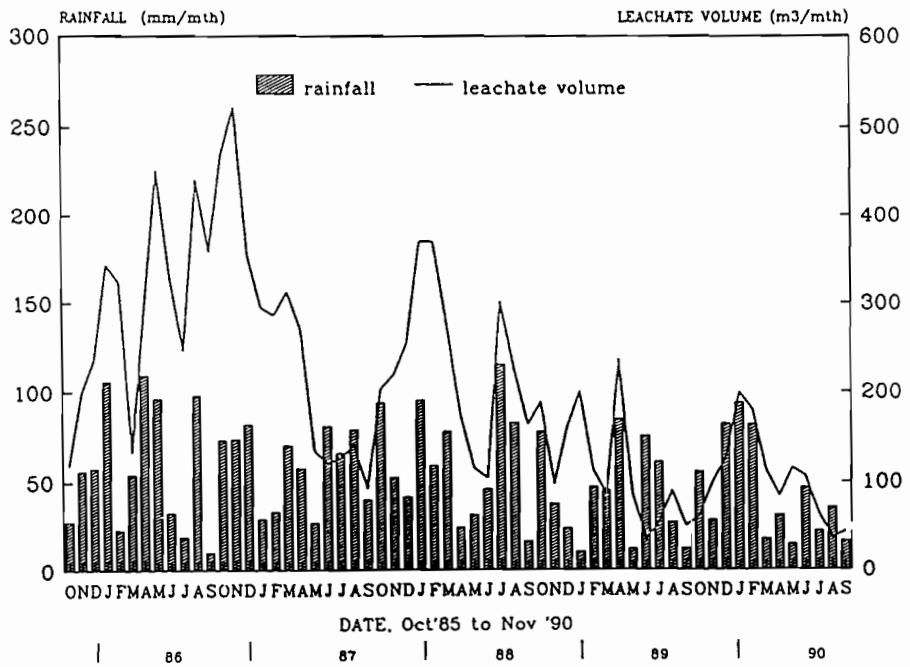


Figura 3.19. Relación lixiviados generados-precipitación en el vertedero clausurado de Rose Cottage Farm (Leeds, UK), (Knox, 1991).

También Iza *et al.* (1991) muestran la evolución diaria de lixiviados en el vertedero de Chicopee (Massachusetts, USA), cuya superficie es de 80 ha. (Figura 3.18). En este caso se producen ascensos muy rápidos que deben estar relacionados con precipitaciones importantes, aunque no se dispone de sus valores, y descensos también muy rápidos aunque algo más suaves en su final.

Knox (1991) presenta las relaciones existentes entre los volúmenes mensuales de lixiviados recogidos en el vertedero clausurado de R.S.U. de Rose Cottage Farm (Leeds, UK) y las precipitaciones recogidas en una estación pluviométrica cercana. El vertedero fue clausurado en Mayo de 1986 con una capa de 500 mm de arcilla compactada sin que se observara el desarrollo de vegetación significante durante el periodo controlado . Hasta Septiembre de 1985 los lixiviados eran recirculados en su totalidad. A nivel mensual (Figura 3.19), las relaciones lixiviados generados-precipitaciones son más claras en los meses de invierno, más lluviosos, sobre todo en los últimos años controlados (en 1986 los volúmenes generados deben estar afectados por las cantidades recirculadas y por aquellas infiltradas durante el periodo en que el vertedero permanecía en activo). Las cantidades de lixiviados recogidas anualmente son muy bajas (entre el 4 y el 10% de las precipitaciones registradas).

Por último, Gasparini & Saetti (1993) comparan los lixiviados producidos en dos vertederos de Italia (Río Vigne, clausurado en Julio de 1991, y Río Riazzone), (Figura 3.20). En el primero de ellos, una vez clausurado el mismo, los lixiviados generados se mantienen bastante constantes en el tiempo. En el segundo, se aprecia con claridad la relación de los aumentos de caudal con las precipitaciones.

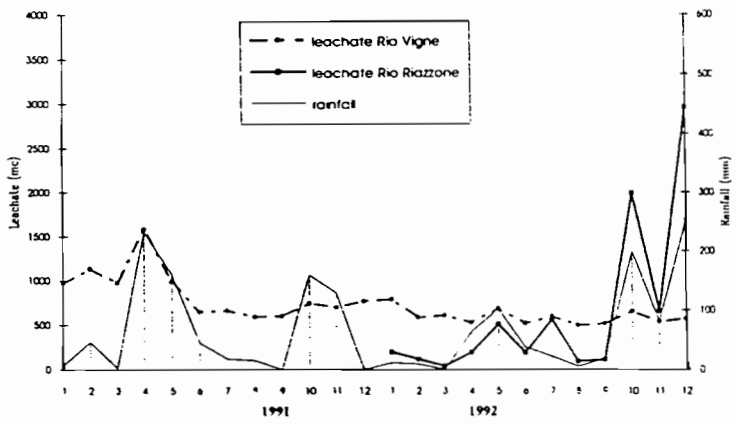


Figura 3.20. Generación de lixiviados en los vertederos de Rio Vigne y Rio Riazzone (Reggio Emilia, Italia), (Gasparini & Saetti, 1993).

3.5. CONCLUSIONES

El establecimiento de balances hídricos se aplica cada vez más en el caso de vertederos de R.S.U. al objeto de obtener información sobre los tamaños ideales de las celdas (tales que la generación de lixiviados sea mínima) y predecir los volúmenes y niveles de lixiviados.

Fundamentalmente se utilizan en regiones húmedas en el caso de vertederos de nueva construcción o de ampliaciones de vertederos en activo, siendo mucho menos frecuentes las actualizaciones de los balances una vez que en los vertederos se han iniciado las operaciones de vertido.

En la mayor parte de los casos la precipitación directa sobre la masa de vertido es la principal fuente de lixiviados. La recirculación de lixiviados es una práctica habitual únicamente en áreas de pluviometría baja y media. El aporte de agua debido a la descomposición de las basuras es de escasa entidad si bien se trata de un aspecto totalmente

decisivo en la caracterización química de los lixiviados. Si partimos de la base de que el vertedero ha sido correctamente diseñado, las entradas de aguas subterráneas y de aguas de escorrentía superficial de áreas adyacentes deben ser inexistentes, y la percolación de lixiviados en el fondo del vertedero también.

En vertederos activos, a efectos prácticos, puede considerarse que no hay pérdidas de agua debidas a escorrentía superficial si se considera que habitualmente su superficie es prácticamente horizontal. La totalidad de los aportes se infiltra en los residuos o en los niveles de cubrición.

Las cantidades de agua consumida durante el proceso de descomposición anaeróbica de la basura son bastante bajas e incluso pueden ser despreciadas en el caso de vertederos en activo. En cambio, en el caso de vertederos clausurados eficientemente, en el que la percolación anual es pequeña, estos procesos afectan significativamente a la cantidad de lixiviados generados.

Las medidas "in situ" de precipitación son siempre las que ofrecen mayores garantías. Incluso se recomienda comparar los resultados de varias estaciones instaladas en el mismo vertedero y utilizar como válidos los datos medios.

Los valores estimados de evapotranspiración potencial son bastante sensibles según el método elegido, y cada método por separado también muestra cierta sensibilidad según los valores que se de a las variables requeridas.

Las características de almacenamiento de humedad por parte de los residuos son sin duda uno de los aspectos más inciertos dentro de los que intervienen en los cálculos del balance hídrico. La absorción y cesión de humedad ha sido a menudo descrita usando los términos utilizados en las ciencias del suelo. Esto ha originado cierta confusión llegándose a aplicar mismos términos para referirse a diferentes cosas. Por otra parte, los procesos de absorción y cesión de humedad son más complicados en los vertederos que en los suelos lo que hace que incluso aplicando correctamente los distintos términos, no se consiga a veces representar exactamente lo que realmente ocurre.

La estimación de la capacidad de campo es complicada ya que es normal que presente valores diferentes según las zonas del vertedero, pudiéndose alcanzar en una zona sin que se haya alcanzado en la gran mayoría del mismo. También varía por efecto de la progresiva compactación y presenta grandes diferencias a lo largo de los perfiles verticales por causa de la existencia de los niveles de cubrición intermedios. Todo esto hace que no sea adecuado hablar de un único valor para la capacidad de campo. Algunos autores no utilizan este término, y consideran directamente la capacidad de absorción por considerar que únicamente podría utilizarse el término de capacidad de campo en el caso de residuos triturados en los que la heterogeneidad es menor.

La mayoría de los modelos de cálculo consideran que no se produce percolación hasta que no se alcanza la capacidad de campo, pero en la práctica no siempre es cierto al existir la posibilidad de que se generen en la basura caminos preferenciales que posibiliten la aparición de lixiviados antes de la superación de dicha capacidad de campo. Este y otros problemas

hacen que la absorción de la humedad por los residuos y la percolación de la misma sean procesos que todavía no han sido satisfactoriamente modelados.

En la práctica, la percolación se calcula por simple diferencia entre las entradas totales (precipitaciones casi exclusivamente) y el valor de la evapotranspiración real, calculado a partir de la evapotranspiración potencial. Cada uno de estos elementos citados introduce ciertas incertidumbres en los valores obtenidos de percolación. Estas dudas pueden deberse a la utilización de datos pluviométricos procedentes de estaciones lejanas, mal situadas o situadas a cotas muy diferentes, o también a errores inherentes a los métodos de cálculo empleados para estimar la evapotranspiración real y a la elección de los coeficientes necesarios (valores del albedo, de la temperatura del vertedero, de los déficits de humedad,..) que pueden generar errores tanto por exceso como por defecto.

En líneas generales, se puede decir que el volumen de lixiviados es coincidente con el volumen de agua percolada (a través del suelo y la basura), siempre que el resto de aportes de agua no sean significativos.

Si partimos de la base de que el vertedero ha sido correctamente diseñado (impermeabilización del vaso del vertedero y sistemas de drenaje de aguas de escorrentía superficial totalmente eficientes), si la superficie del vertedero es horizontal (no hay pérdidas por escorrentía), si no se produce recirculación de lixiviados y no se vierten residuos líquidos, y dado que las entradas y salidas por descomposición de la basura y salidas en forma de gas son claramente despreciables frente al resto de factores, la ecuación general del balance hídrico puede expresarse de la forma resumida:

$$L = W_P - ETR \pm \Delta S$$

Lixiviados = Precipitación - Evapotranspiración real ± Variación de la humedad almacenada

El método más ampliamente utilizado para estimar la producción de lixiviados en vertederos reales ha sido el denominado "método del balance de agua", desarrollado a partir de los trabajos de Thornthwaite & Mather (1957) para cuantificar la evapotranspiración real. Sin embargo, la aplicación de este método en vertederos situados en zonas áridas o semiáridas ha dado numerosos problemas hasta el punto de no ser considerado válido para el objetivo propuesto debido a que los mecanismos de recarga y movimiento de la humedad en estos vertederos son muy diferentes a como lo son en los situados en zonas húmedas.

En los vertederos en activo, con importantes extensiones sin cubrir (con residuos recién vertidos) o con cubiertas intermedias sin vegetación, es necesario calcular la evaporación que se produce desde estas zonas. Esta evaporación se acepta que es menor que la evapotranspiración real que se produciría en caso de que el vertedero hubiese sido ya revegetado. Además, en las zonas sin cubrir se considera que los valores de evaporación deben ser menores que los correspondientes a suelos desnudos. Desgraciadamente, la estimación de estos valores de evaporación es muy complicada al existir muy pocas fórmulas para su cálculo y haberse encontrado muy pocos estudios en los que se considere este factor como tal.

A pesar de que durante los últimos 15 años los vertederos de R.S.U. han sido objeto de intensa investigación en relación a múltiples aspectos (evaluación de impactos ambientales,

procesos que tienen lugar en su interior, gestión del gas y de los lixiviados generados, etc.), es de destacar la escasa atención prestada al control y estudio de la evolución de los caudales de lixiviados generados.

El gran interés mostrado en los aspectos teóricos que intervienen en la formación de los lixiviados no se ha visto reflejado en la práctica en la gestión diaria de los vertederos en fase de actividad o ya clausurados. Es relativamente frecuente encontrar en la literatura referencias sobre estudios llevados a cabo en lisímetros o celdas experimentales pero no así en relación a vertederos reales.

En muy pocas ocasiones se han comparado los resultados teóricos de los balances hídricos con datos reales de niveles o volúmenes de lixiviados. Más aun, en muchos casos ni siquiera se plantean este tipo de estudios. En definitiva, puede afirmarse que la información disponible en la actualidad sobre generación real de lixiviados en vertederos de R.S.U. es muy limitada.

CAPÍTULO 4

GENERACIÓN DE LIXIVIADOS EN LOS VERTEDEROS DE R.S.U. ESTUDIADOS

4.1. Introducción 4.1

4.2. Vertedero de Lapatx 4.2
4.2.1. Antecedentes 4.2
4.2.2. Características de los aparatos instalados 4.2
4.2.2.1. Caudalímetro ZULLIG 4.2
4.2.2.2. Estación HYDRODATA-1256 ..... 4.3
4.2.2.3. Estación meteorológica METOSDAT 4.5
4.2.3. Procedimiento de volcado de datos y tratamiento previo de los mismos 4.5
4.2.4. Problemas surgidos durante el periodo controlado 4.8
4.2.4.1. Problemática de los sensores 4.8
4.2.4.2. Otros problemas que afectan a la cantidad y calidad de los datos registrados 4.11
4.2.5. Estudio de los hidrogramas y de las evoluciones de temperatura y conductividad 4.17
4.2.5.1. Características y descomposición de los hidrogramas 4.17
4.2.5.2. Análisis de hidrogramas. Métodos empleados 4.23
4.2.5.3. Evolución general del caudal, temperatura y conductividad. Valores medios 4.27
4.2.5.4. Descripción detallada de hidrogramas y de las evoluciones de temperatura y conductividad 4.39
4.2.5.5. Análisis correlatorio y espectral 4.60
4.2.5.6. Análisis de los agotamientos 4.65
4.2.5.7. Caudales clasificados 4.66

4.3. Vertedero de Góngora 4.67
4.3.1. Antecedentes 4.67
4.3.2. Características de los aparatos instalados. Volcado de datos y tratamiento previo de los mismos. problemas surgidos 4.67
4.3.3. Estudio de los hidrogramas 4.69
4.3.3.1. Evolución general del caudal 4.70
4.3.3.2. Descripción de hidrogramas 4.73
4.3.3.3. Análisis correlatorio y espectral 4.80
4.3.3.4. Caudales clasificados 4.81

4.4. Vertedero de San Marcos 4.83
4.4.1. Antecedentes 4.83
4.4.2. Características de los aparatos instalados. Volcado de datos y tratamiento previo de los mismos. Problemas surgidos 4.84
4.4.3. Estudio de los hidrogramas y de las evoluciones de los parámetros físico-químicos 4.86

4.5. Vertedero de Sasieta 4.92
4.5.1. Estimación de los caudales generados 4.92

4.6. Balances hídricos 4.95
4.6.1. Consideraciones generales 4.95
4.6.2. Problemática en los vertederos de San Marcos, Sasieta y Góngora 4.96
4.6.3. Balance hídrico en el vertedero de Lapatx 4.97
4.6.3.1. Variación local de la precipitación 4.97
4.6.3.2. Cálculo de la evapotranspiración potencial y real 4.98
4.6.3.3. Cálculo de los balances 4.101

4.7. Modelización del balance hídrico 4.105
4.7.1. Modelos existentes 4.105

4.7.2. Características del modelo HELP 4.110
4.7.2.1. Aspectos generales 4.110
4.7.2.2. Representación de los procesos hidrológicos 4.112
4.7.3. Aplicación del modelo HELP en el vertedero de Lapatx 4.113

4.8. Conclusiones 4.120

4.9. Recomendaciones 4.126

4.1. INTRODUCCIÓN

La correcta gestión de un vertedero de R.S.U. debe incluir, en todos los casos, el control exhaustivo de los caudales de lixiviados que se generen en cada momento en ese vertedero. El conocimiento de estos caudales y de sus variaciones con relación a variables meteorológicas (precipitaciones fundamentalmente) y a la evolución de las labores de vertido, permite una sustancial mejora en la gestión posterior de los mismos (tratamiento en depuradora) y puede poner en evidencia posibles defectos de diseño del vertedero (mal funcionamiento de la red de drenaje de lixiviados, entradas de aguas exteriores, posibles pérdidas de lixiviados por infiltración en el subsuelo, etc.).

En este capítulo se aborda el estudio de la generación de lixiviados en aquellos vertederos estudiados en los que se dispone de información relativa a esta cuestión (vertederos de Lapatx, San Marcos y Sasieta en Gipuzkoa, y vertedero de Góngora en Navarra). En el resto de vertederos estudiados (Urteta, Petritegi, Ventas y San Blas) no se dispone de ningún dato referente a los caudales de lixiviados generados a pesar de que 2 de ellos (Urteta y San Blas) se encuentran aún en activo.

De esta forma se pretende cubrir en parte el vacío existente en la actualidad en lo que se refiere a datos sobre cantidades de lixiviados generados en vertederos de R.S.U. reales, en activo, y a las relaciones existentes entre estas cantidades y las precipitaciones registradas sobre los vertederos. Aunque estos aspectos han sido tratados ampliamente en la bibliografía consultada desde un punto de vista teórico, lo cierto es que no se dispone de mucha información práctica, obtenida a partir de vertederos en activo y no de experimentaciones en laboratorio o en lisímetros, sobre la respuesta del vertedero a aportes de agua externa: tiempo de respuesta, amplitud de los aumentos de caudal, forma de las curvas de crecida y decrecida, etc.

En primer lugar se considera el vertedero de Lapatx por ser el que cuenta con mayor volumen de información (5 años de datos). A continuación, se considera el vertedero de Góngora (2 años de datos). La información relativa al vertedero de San Marcos, a pesar de ser escasa, también se presenta y se interpreta en su correspondiente apartado. Por último, se estiman los caudales generados en el vertedero de Sasieta a pesar de no contar con equipos de control específicos (caudalímetros).

Para cada vertedero se comentan las características de los equipos de control instalados, los procedimientos de volcado de datos, el tratamiento previo al que ha habido que someter a esos datos, así como los problemas acontecidos durante el periodo controlado. Posteriormente, se estudian exhaustivamente los hidrogramas obtenidos mediante la aplicación de diferentes métodos habituales en estudios hidrológicos. En los vertederos de Lapatx y San Marcos también se estudia la información referente a la evolución en los lixiviados de diferentes parámetros físico-químicos (temperatura, pH y conductividad, en Lapatx, más oxígeno disuelto y potencial redox en San Marcos).

Por otra parte, una vez presentada e interpretada la información disponible, se calculan los balances hídricos en estos vertederos utilizando para ello diferentes métodos en función de la información de partida disponible en cada caso.

4.2. VERTEDERO DE LAPATX

4.2.1. ANTECEDENTES

El control de los caudales de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx se inició en Julio de 1991 en el marco de un Proyecto de Investigación realizado por el Dpto. de Medio Ambiente y Química de los laboratorios LABEIN de Bilbao para el Gobierno Vasco/Eusko Jaurlaritza (LABEIN, 1990). Tanto el diseño del aforador Parshall como su instalación en la parte final del sistema de drenaje de lixiviados del vertedero fue realizada por personal técnico de dichos laboratorios. El aforador se diseñó para poder medir en él con precisión los caudales comprendidos entre 0,1 y 44 l/seg. La elección e instalación del caudalímetro así como su mantenimiento hasta principios de 1993 también se debe al mismo personal de LABEIN.

Entre los factores que decidieron la elección del vertedero de Lapatx como vertedero experimental cabe destacar:

- El hecho de ser de nueva construcción (se inició el vertido en Noviembre de 1987) con un diseño adecuado de los sistemas de drenaje tanto de aguas de escorrentía superficial como de lixiviados.

- Conocimiento exhaustivo de las categorías y cantidades de residuos vertidos así como de los procesos de operación.

- Facilidades físicas para la instalación y mantenimiento de los aparatos de medida.

- Buena disponibilidad de los gestores del vertedero.

Hasta Marzo de 1993 únicamente se controló el caudal de lixiviados generados por medio de un caudalímetro marca ZULLIG, almacenándose los datos en un datalogger marca RUSTRAK-quartel. En Abril de ese año, el Grupo de Hidrogeología de la U.P.V/E.H.U. sustituyó el caudalímetro por otro de la misma marca y características al mismo tiempo que instaló una estación automática HYDRODATA-1256 (marca GEONICA) preparada para registrar las variaciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica de los lixiviados. Desde esa fecha el mantenimiento de toda la infraestructura ha sido realizada por el Grupo de Hidrogeología de la U.P.V/E.H.U.

Posteriormente, en Mayo de 1993, en el marco del proyecto de investigación "Gestión de lixiviados en los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. Recopilación bibliográfica e investigación hidrológica en los vertederos de la provincia de Gipuzkoa", realizado por el grupo citado para el Dpto. de Obras Hidráulicas y Medio Ambiente de la Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia, se instaló una estación meteorológica automática METOSDAT diseñada para medir en continuo la precipitación, temperatura del aire, humedad relativa del aire, dirección de viento, velocidad de viento y radiación solar.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS INSTALADOS

4.2.2.1. CAUDALÍMETRO ZULLIG

El caudalímetro ZULLIG (Foto 4.1) consta de una sonda de nivel ultrasónica Echolot HT-D y de un amplificador de señal EA-94. Con este tipo de sondas acústicas, sin contacto

Foto 4.1 (arriba). Caudalímetro ZULLING y arqueta de control de lixiviados.
Foto 4.2 (abajo). Estación meteorológica METOSDAT.

con el medio a medir, la temperatura, el contenido en vapor de agua y la densidad de la atmósfera modifican la propagación del sonido. Para compensar estas influencias, esta sonda utiliza un sistema de referencia en el cual la medición acústica se realiza al mismo tiempo y comparativamente sobre el nivel de agua y sobre el tramo de la barra de referencia de longitud constante de que dispone.

La sonda realiza aproximadamente 5 mediciones por segundo. Una preintegración obtiene cada vez el promedio de 4 mediciones. Los cambios de valores sólo se consideran buenos si se mantienen al menos durante 4 segundos.

El amplificador EA-94 evalúa las señales emitidas por la sonda y contiene el teclado que permite calibrarla así como introducir la ecuación de descarga del aforador sobre el que va montada la sonda. Sin embargo, no almacena los datos, que pueden ser de dos tipos, de altura de lámina de lixiviado o de los caudales correspondientes (en el caso en que se haya decidido introducir la ecuación del aforador). Para almacenar los datos es necesario disponer de un datalogger auxiliar.

4.2.2.2. ESTACIÓN HYDRODATA-1256

Se trata de una estación automática de registro en continuo de parámetros de calidad de las aguas (Foto 4.3) que dispone de sensores para temperatura, pH y conductividad. Además dispone de un canal libre para recibir la señal emitida por el caudalímetro ZULLIG. La electrónica va montada dentro de una pequeña caja estanca de material ABS altamente resistente con apantallamiento.

La capacidad de memoria interna es de 512 kbytes en RAM estática, almacenándose en la misma todos los datos y cálculos efectuados por el microprocesador a partir de los valores medidos en cada uno de los canales de entrada. La unidad va muestreando todas las señales de modo secuencial, midiendo sus valores instantáneos y calculando los máximos, mínimos y medios periódicamente, a intervalos de tiempo programable. En este caso, se ha trabajado con registros a intervalos de 10 minutos, calculados a su vez como medias de valores muestreados cada 30 segundos normalmente.

En funcionamiento normal, el equipo se alimenta a través de un módulo de alimentación que está conectado a la red eléctrica. Dispone también de pilas internas de Ni-Cd recargables por el módulo de alimentación. Si por cualquier problema se produce alguna desconexión de la red, el equipo pasa a alimentarse de las pilas internas. Si éstas se agotan, el equipo se apaga, no perdiéndose los datos registrados al disponer de una batería interna de Li no accesible al usuario.

Características de los sensores

En general, la información aportada por las empresas suministradoras sobre el funcionamiento de sus sensores es bastante escasa y dificulta determinar la idoneidad de un sensor para una determinada finalidad. Según Pallás (1994), los factores a considerar en la elección de un sensor son:

- Respecto a la magnitud a medir:
  - Límites absolutos de la magnitud a medir.

- Exactitud deseada.
- Tiempo de respuesta.
- Magnitudes interferentes.
- Materiales empleados en los sensores y sus características.
- Principios físicos en los que se basa el sistema de medida.

• Respecto a las características de la alimentación:
- Tensión y corriente.
- Potencia disponible.
- Estabilidad.

• Respecto a las características de la salida:
- Sensibilidad, linealidad, resolución, umbral, grado de histéresis.
- Tipo: tensión, corriente o frecuencia.
- Forma de la señal: unipolar, flotante o diferencial.
- Impedancia.
- Destino: presentación analógica, conversión a señal digital, telemedida.

• Respecto a las características ambientales:
- Margen de temperatura, humedad.
- Presencia de vibraciones, agentes químicos corrosivos, atmósferas explosivas.
- Entorno electromagnético.

• Otros factores:
- Peso, dimensiones.
- Vida media.
- Disponibilidad.
- Coste de adquisición, verificación, mantenimiento y sustitución.
- Tiempo de instalación.
- Longitud de cable necesaria.
- Situación en caso de fallo.

En la elección de los sensores instalados en la estación HYDRODATA-1256 no pudieron ser tenidos en cuenta todos estos factores, fundamentalmente, y como ya se ha dicho, por no ser aportada la información correspondiente por las empresas suministradoras. Como criterios principales se consideraron, además del de coste de adquisición, la resistencia de los sensores, los rangos de medida, exactitud de medida, posibilidad de variación del intervalo de toma de datos así como el servicio postventa ofrecido por la empresa.

La estación instalada cuenta, como ya se ha comentado, con 3 sensores diferentes:

- Temperatura: array de termistores termolineales encapsulados en un tubo de acero inoxidable de 1/8 pulgadas.

- pH: electrodo de pH combinado con electrodo de referencia de Ag-ClAg con salida en milivoltios.

- Conductividad: array de 5 elementos de acero inoxidable encapsulado en una vaina también de acero inoxidable. La muestra pasa por el centro del sensor por un orificio de

pequeño diámetro. Hay también un array termistor dentro del encapsulado del sensor de conductividad que es utilizado para obtener conductividad corregida en temperatura

SENSOR	Rango	Precisión	Dimensiones	Peso
Temperatura	0-50 °C	± 0,1 °C	4,4 cm x 25,4 cm	0,68 kg
pH	0-14 u.pH	± 0,1 u.pH	3,2 cm x 14,5 cm	0,28 kg
Conductividad	0-10 mS/cm	± 0,01 mS/cm	4,4 cm x 25,4 cm	0,68 kg

Tabla 4.1. Características de los sensores de la estación HYDRODATA-1256 (Lapatx).

4.2.2.3. ESTACIÓN METEOROLÓGICA METOSDAT

Se trata de una estación automática de registro en continuo de parámetros meteorológicos que consta de una unidad de sensores que dispone de terminales para un pluviómetro y para sensores de temperatura del aire, humedad relativa del aire, dirección de viento, velocidad de viento y radiación solar, y de una unidad central para el proceso de los datos alimentada por baterías recargables. La unidad central y la unidad de sensores están conectados por un cable especial de 10 m (Foto 4.2).

El sistema chequea automáticamente todos los valores de los sensores cada 12 minutos y los archiva en su memoria ROM, pudiéndose almacenar así la información referente a 15 días como máximo. Para ahorrar energía el aparato se desactiva automáticamente una vez finalizadas sus mediciones y permanece en situación de alerta.

SENSOR	Tipo de sensor	Rango	Precisión
Temperatura aire	MT1000	-20 a 50 °C	± 0,4 °C
Humedad relativa aire	capacitativo	20 a 95%	± 3%
Lluvia	cazoletas	-	0,2 mm
Velocidad viento	opto/trigger	0 a 25 m/seg	± 2%
Dirección viento	resistor	8 x 45 Grad	± 5%
Solarímetro	termopar	0 a 2.000 Wat/m^2	± 10%

Tabla 4.2. Características de los sensores de la estación METOSDAT (Lapatx).

4.2.3. PROCEDIMIENTO DE VOLCADO DE DATOS Y TRATAMIENTO PREVIO DE LOS MISMOS

Caudalímetro ZULLIG + datalogger RUSTRAK

Hasta el 29 de Marzo de 1993 únicamente se controlaron los datos de caudal por medio de un caudalímetro marca ZULLIG. La información se almacenaba en un datalogger marca RUSTRAK-quartel. El volcado periódico de los datos se realizaba por medio de un ordenador portátil, tras conectarlo con el datalogger mediante un cable interface RR-101. El software de aplicación del datalogger permitía la transmisión correcta de los datos así como elegir entre distintas opciones de formatos de recogida de los mismos.

Una vez volcados los datos registrados al ordenador se procedía al tratamiento previo de los mismos. Por cada proceso de volcado se generaba un fichero de formato propio (con extensión .log). Estos ficheros se transformaban a formato ASCII (con extensión .prn) utilizando el software de aplicación del datalogger. Como intervalo entre registros se escogió

el valor de 600 segundos (10 minutos). De esta forma, se obtenían ficheros que podían ya ser importados a otros programas al objeto de hacer los cambios de unidades oportunos (en los ficheros ASCII los datos aparecen en unidades de voltios) y de eliminar los campos no interesantes. Los campos existentes en estos ficheros son: tiempo, tiempo acumulado, intervalo, valor mínimo, valor medio y valor máximo.

Estas transformaciones se realizaron en DBASE III Plus por medio de un programa realizado a tal efecto. Básicamente lo que hace el programa es transformar los formatos del campo "tiempo" a un formato fecha (día-mes-año hora:minutos), transformar los "valores medios" a alturas de la lámina de agua (en mm.) así como calcular los caudales correspondientes a esas alturas a partir de la curva de gastos del aforador Parshall. El listado de este programa (trans.prg) y la estructura de los ficheros utilizados (intermed.dbf y ondas10m.dbf) se presentan en el Anexo 4.1.1.

Con posterioridad también se ha aplicado otro programa al objeto de calcular los valores medios horarios y medios diarios (el listado de este programa, ONDASMED.prg, y la estructura de los ficheros resultantes, ONDASHOR.dbf y ONDASDIA.dbf, también se presentan en el Anexo 4.1.1).

Caudalímetro ZULLIG + estación HYDRODATA-1256

El día 29 de Marzo de 1993, se sustituyó el caudalímetro por otro de la misma marca y características al mismo tiempo que se instaló una estación automática HYDRODATA-1256 (marca GEONICA) preparada para registrar las variaciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica de los lixiviados, y que además disponía de un canal libre para recibir la señal emitida por el caudalímetro ZULLIG.

El volcado periódico de los datos registrados (Foto 4.4) se realizaba por medio de un ordenador portátil Toshiba 2200SX tras conectarlo con la "Unidad de Recuperación de datos" de la estación mediante un cable interface RS232, y utilizando para ello el software de aplicación correspondiente.

Los datos recibidos de la Unidad de Recuperación de datos son almacenados en el ordenador en ficheros diarios binarios y ASCII. El nombre de los ficheros tiene el siguiente formato: EEAAMMDD.ext

EE: 2 dígitos
AA: últimas 2 cifras del año
HH: número del mes
DD: número del día
ext: dat ó asc según el fichero sea binario o ASCII

Los datos de cada periodo promedio configuran dentro del fichero un registro que tiene la estructura que se indica en la Tabla 4.3. Como puede verse, en estos ficheros se guardan los datos de tal forma que no sea necesario el uso de decimales (en décimas o en centésimas de las unidades de medida habituales) al objeto de que la memoria ocupada por el fichero sea la mínima posible. Así mismo, los datos referentes a la altura de la lámina de agua vienen referidos en centésimas de mA y no en unidades de longitud.

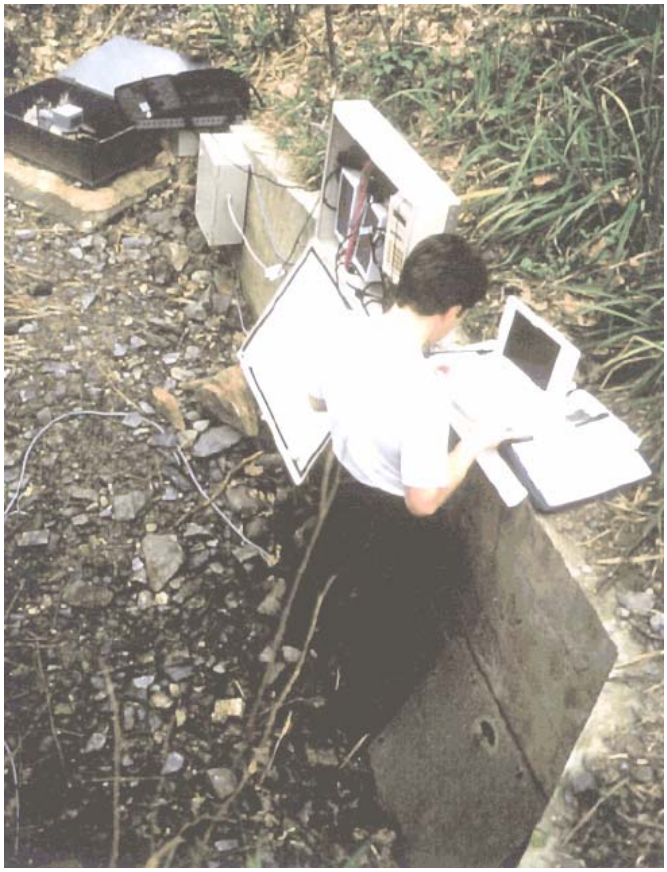


Foto 4.3 (arriba). Detalle de la estación automática HYDRODATA-1256.
Foto 4.4. (abajo). Proceso de volcado de la información almacenada.

Columna	Parámetro	Unidades
1	Fecha	codificada
2	Hora	minutos
3	Temperatura media	décimas °C
4	Temperatura máxima	décimas °C
5	Temperatura mínima	décimas °C
6	Conductividad media	centésimas mS
7	Conductividad máxima	centésimas mS
8	Conductividad mínima	centésimas mS
9	Conductividad corr. media	centésimas mS
10	Conductividad corr. máxima	centésimas mS
11	Conductividad corr. mínima	centésimas mS
12	pH media	centésimas pH
13	pH máxima	centésimas pH
14	pH mínima	centésimas pH
15	Auxiliar	centésimas mA
16	Batería	décimas V

Tabla 4.3. Formato de los registros de los ficheros generados por la estación HYDRODATA-1256 (Lapatx).

Con vistas a realizar las transformaciones de unidades necesarias, calcular los caudales correspondientes a las alturas obtenidas, eliminar columnas sin utilidad (caso de las que contienen valores mínimos y máximos de los distintos parámetros) y agrupar información de ficheros de días correlativos, se ha aplicado un programa informático expresamente diseñado para este fin por técnicos del Dpto. de Medio Ambiente y Química de los laboratorios LABEIN. Como norma general, se ha aplicado este programa a los ficheros iniciales ASCII de cada mes por separado.

Los ficheros mensuales resultantes contienen información a intervalos de 10 minutos referente a los siguientes parámetros: temperatura, conductividad eléctrica, conductividad eléctrica corregida, pH, altura de la lámina de lixiviados y caudal correspondiente, además de la fecha (día-mes-año) y hora (hora:minutos) de cada registro. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, los datos cada 10 minutos son valores medios de las mediciones realizadas cada 30 segundos por los distintos sensores. Posteriormente, también se han calculado los valores medios horarios y diarios a partir de los ficheros mensuales por aplicación de otro programa escrito en lenguaje DBASE III Plus. El listado de este programa (LHYDRMED.prg) y las estructuras de los ficheros resultantes (LHYDRHOR.dbf y LHYDRDIA.dbf) se presentan en el Anexo 4.1.2.

Estación METOSDAT

Los datos almacenados en la unidad de registro son volcados periódicamente, como en el caso de las estaciones anteriores, por medio de un ordenador portátil Toshiba 2200SX mediante un cable interface RS232, y utilizando para ello el software de aplicación correspondiente.

Los datos recibidos son almacenados en el directorio en forma de ficheros de formato propio que contienen los registros a intervalos de 12 minutos del periodo volcado (normalmente entre 10 y 15 días). Los nombres de estos ficheros están formados por el nombre de la estación seguido de un número (1 para el primer fichero generado, 2 para el

segundo y así sucesivamente). Posteriormente, y utilizando el software de aplicación de la estación se procede a la conversión del formato interno de los ficheros a formato DBASE III Plus y a la formación de ficheros mensuales.

Los ficheros mensuales resultantes contienen información a intervalos de 12 minutos referente a los siguientes parámetros: lluvia, temperatura del aire, humedad relativa del aire, dirección y velocidad de viento y radiación solar, además de la fecha (día-mes-año) y hora (hora:minutos) correspondientes. Posteriormente también se han calculado los valores medios horarios y diarios a partir de los ficheros por aplicación de otro programa escrito en lenguaje DBASE III Plus. El listado de este programa (METOSMED.prg) y las estructuras de los ficheros resultantes (METOSHOR.dbf y METOSDIA.dbf) se presentan en el Anexo 4.1.3.

4.2.4. PROBLEMAS SURGIDOS DURANTE EL PERIODO CONTROLADO

4.2.4.1. PROBLEMÁTICA DE LOS SENSORES

Sensor de temperatura

Este sensor es sin duda el que menos problemas ha dado a lo largo del periodo controlado. A excepción de un breve periodo a principios de Septiembre de 1993 en que registró datos erróneos debido a un problema de mantenimiento, el resto del tiempo ha funcionado correctamente. Este sensor no requiere especial mantenimiento y las comprobaciones periódicas que se han realizado de los valores registrados, por medio de termómetros de campo, han sido siempre positivas.

Sensor de pH

A pesar de que en un principio se pensaba, en función de la información disponible, que este sensor iba a dar muy pocos problemas, la realidad resultó muy diferente. Los primeros problemas surgieron a la hora de calibrar el sensor con las soluciones patrón en el laboratorio. La estabilización de la señal de respuesta, imprescindible para la óptima calibración, sólo se realizaba después de bastantes minutos, lo cual convertía la operación en bastante tediosa. A la calibración en el lugar de control (en el vertedero) había que sumarle los condicionantes propios de realizar la operación a la intemperie.

El tiempo requerido por el sensor para tomar un valor estable (periodo de calentamiento), definido como el tiempo que tarda en estabilizar la salida desde el momento en que recibe tensión de alimentación, y que es de 40 segundos, también ocasiona algunos inconvenientes, ya que limita la posibilidad de trabajar en estado dormido/despierto (posibilidad de que la estación sólo funcione en el momento de tomar una serie de medidas).

Otro problema encontrado fue el del recubrimiento de la zona sensible del sensor por partículas sólidas y espumas, relativamente frecuentes en los lixiviados, lo que impedía, en algunos casos, una correcta medición. Para intentar minimizar estos problemas, se procedía a la limpieza cuidadosa de la zona sensible con instrumentos apropiados (pinceles de pelo fino).

Pero, sin duda, el mayor problema surgió al analizar los datos registrados por la estación y ver que dichos datos no guardaban ninguna relación con el resto de parámetros estudiados (caudal, temperatura y conductividad), y que por contra, describían curvas que

sufrían fuertes descensos tras las necesarias operaciones de mantenimiento y recogida de información, realizada normalmente cada 10-15 días. Ejemplos de estos fenómenos se manifiestan con gran claridad en las gráficas de la Figura 4.1, que presentan la evolución del pH conjuntamente con la de la temperatura y caudal de los lixiviados en periodos con condiciones hidrológicas claramente diferentes. Las operaciones de mantenimiento que normalmente se tardan en realizar entre tres cuartos de hora y una hora, se indican en las gráficas mediante flechas verticales.

En la gráfica inferior de dicha figura, correspondiente a los meses de Octubre y Noviembre de 1993, en los que se producen 3 crecidas importantes, la evolución del pH no se ve relacionada con las variaciones de caudal y temperatura, sino que evoluciona progresivamente hacia valores superiores hasta el momento en que se realizan las tareas de mantenimiento y volcado de los datos registrados, en que desciende bruscamente, describiendo así ciclos compuestos por aumentos progresivos-descensos bruscos.

En la gráfica central, correspondiente al mes de Septiembre de 1994, caracterizado por caudales bajos con algunos picos que no sobrepasan los 8 l/seg, la evolución del pH sigue sin correlacionarse con la de los demás parámetros y se siguen produciendo los descensos tras las tareas de mantenimiento sin aparecer los ciclos tan marcados que aparecen en la primera gráfica. En la gráfica superior, Noviembre-Diciembre de 1994, meses en los que se mantienen los caudales muy bajos y constantes, también se sigue manteniendo la tendencia antes mencionada, aunque con menor intensidad.

De todo esto se deduce que el sensor de pH del que se ha dispuesto no es el más apropiado para este tipo de medios y que los datos registrados por el mismo no pueden ser considerados en estudios posteriores por tener una validez muy limitada. Es por ello por lo que no se han utilizado en el marco de este proyecto de investigación.

Sensor de conductividad

El principal problema que ha presentado este sensor ha sido el del taponamiento del orificio que presenta y por el que debe pasar el lixiviado para poder ser efectuada la medida. Debido a su pequeño tamaño, en ocasiones los materiales sólidos flotantes en el lixiviado han obturado el mismo falseando totalmente los valores medidos. Ejemplo de este fenómeno se presenta en la gráfica inferior (Abril-Mayo de 1994) de la Figura 4.2. En general, este taponamiento se ha traducido en aumentos considerables de los valores registrados de conductividad a partir del momento en que se empieza a taponar el orificio del sensor y hasta que se lleva a cabo la limpieza del mismo durante las operaciones de mantenimiento (marcadas en los gráficos mediante flechas verticales).

Otro problema encontrado fue el del arrastre del sensor debido a la fuerza de la corriente en periodos con caudales importantes. Tras pasar la punta de caudal el sensor quedaba emplazado en una zona de la arqueta de control que el lixiviado no cubría por completo, imposibilitándose la medida correcta. Este problema se solucionó fijando los sensores de forma que no pudieran desplazarse de su posición inicial. En la gráfica superior (Abril-1993) de la Figura 4.2. se ve cómo tras 2 crecidas (últimas horas de los días 13 y 23), se empiezan a registrar valores anormalmente bajos de conductividad como consecuencia del problema referido.

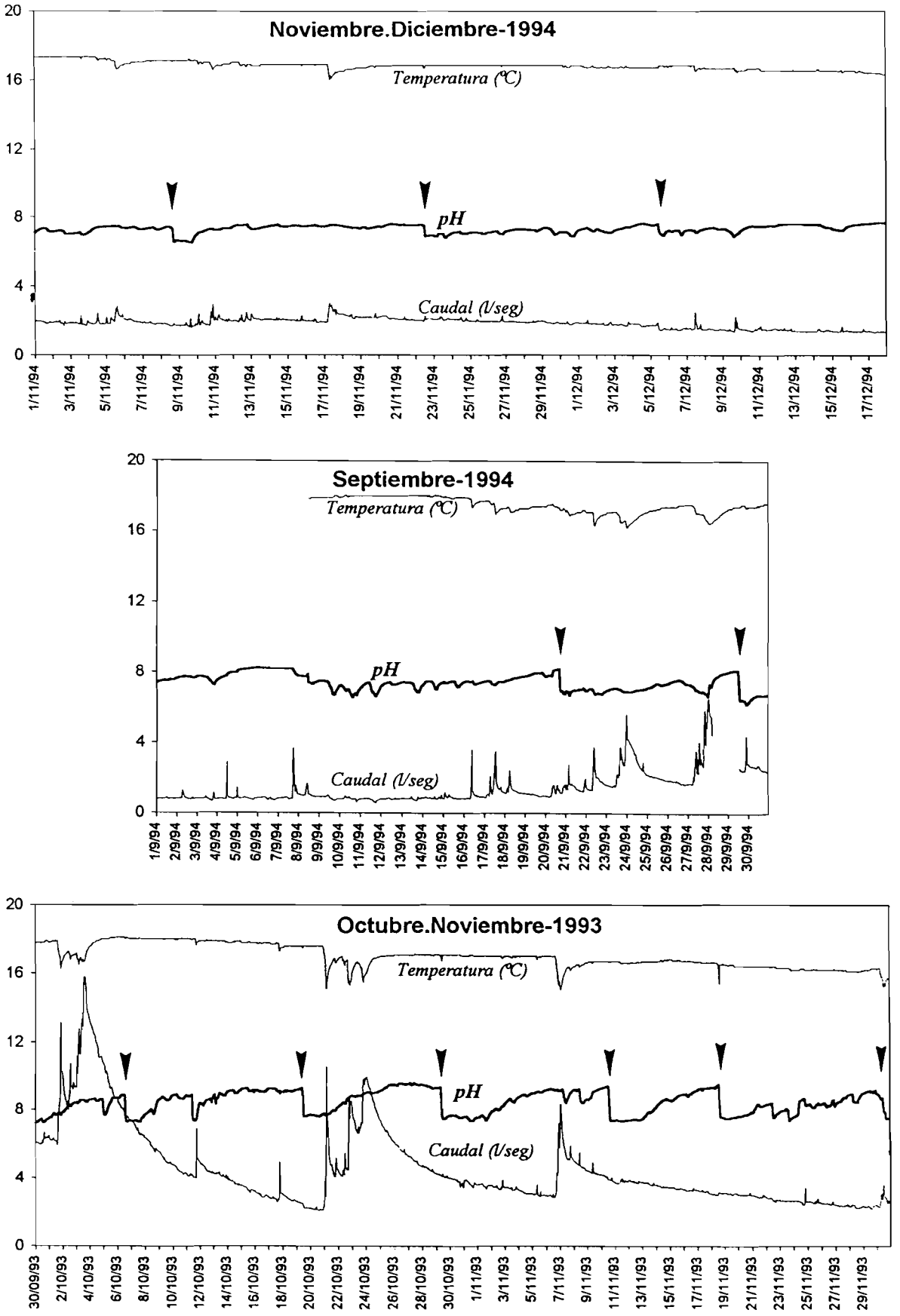


Figura 4.1. Evoluciones anómalas de pH comparadas con las de temperatura y caudal. Datos medios horarios (flechas verticales: operaciones de limpieza).

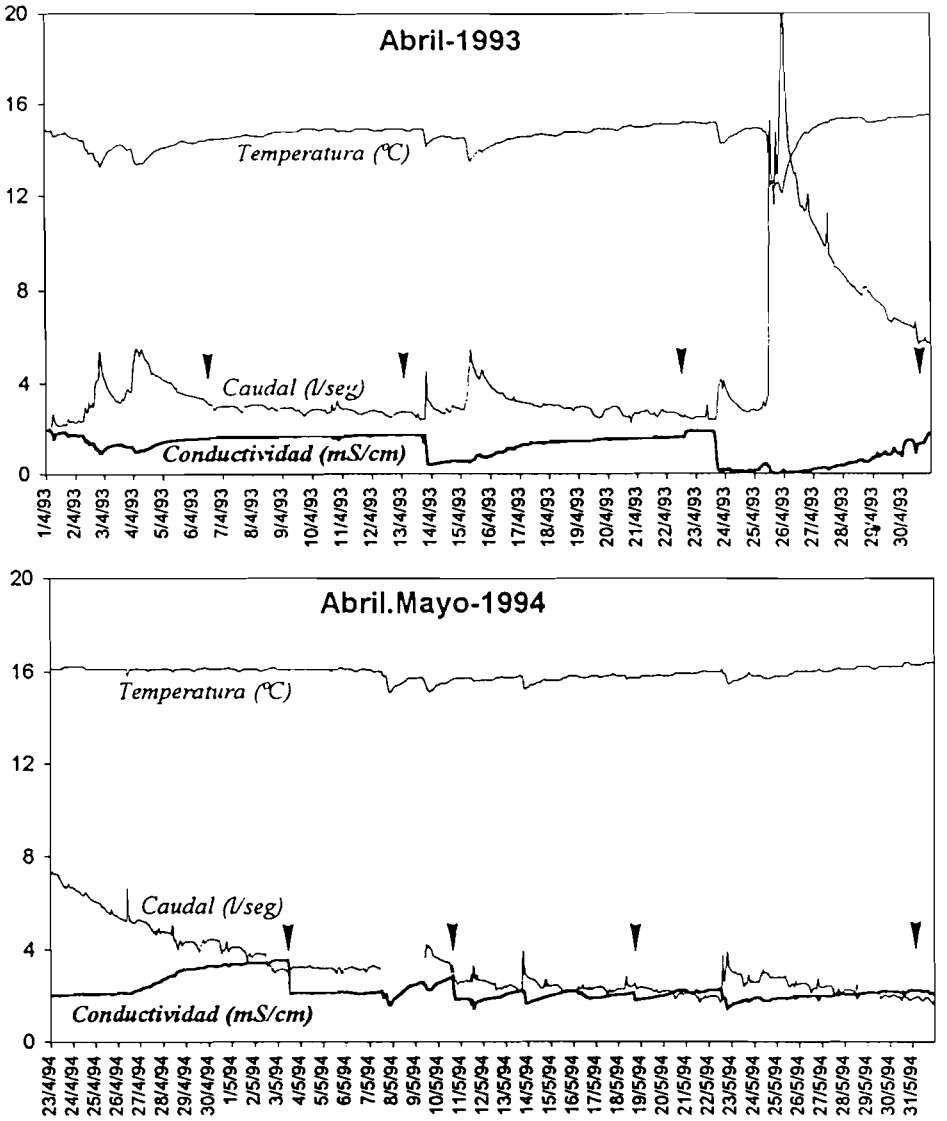


Figura 4.2. Registros anómalos de conductividad debido a arrastres del sensor (arriba) y al taponamiento del orificio del mismo (abajo). Datos medios horarios (flechas verticales: operaciones de limpieza).

4.2.4.2. OTROS PROBLEMAS QUE AFECTAN A LA CANTIDAD Y CALIDAD DE LOS DATOS REGISTRADOS

El registro de valores de alturas de lámina de agua, datos a partir de los cuales se obtiene el caudal tras aplicar la curva de gastos del aforador Parshall, se ha visto afectado por dos tipos de problemas: por un lado, problemas relativos a la calidad de los datos registrados, y por otro, aquellos que han afectado a la cantidad de los datos registrados. Entre los primeros cabe mencionar la sedimentación producida de forma habitual, aunque no siempre, de sólidos finos sobre la superficie del aforador Parshall. Entre los segundos destacan la caída de rayos, los cortes de suministro eléctrico y ciertos fallos de registro por parte del caudalímetro o de la estación HYDRODATA-1256, en cuyo caso también afecta a los registros de temperatura y conductividad.

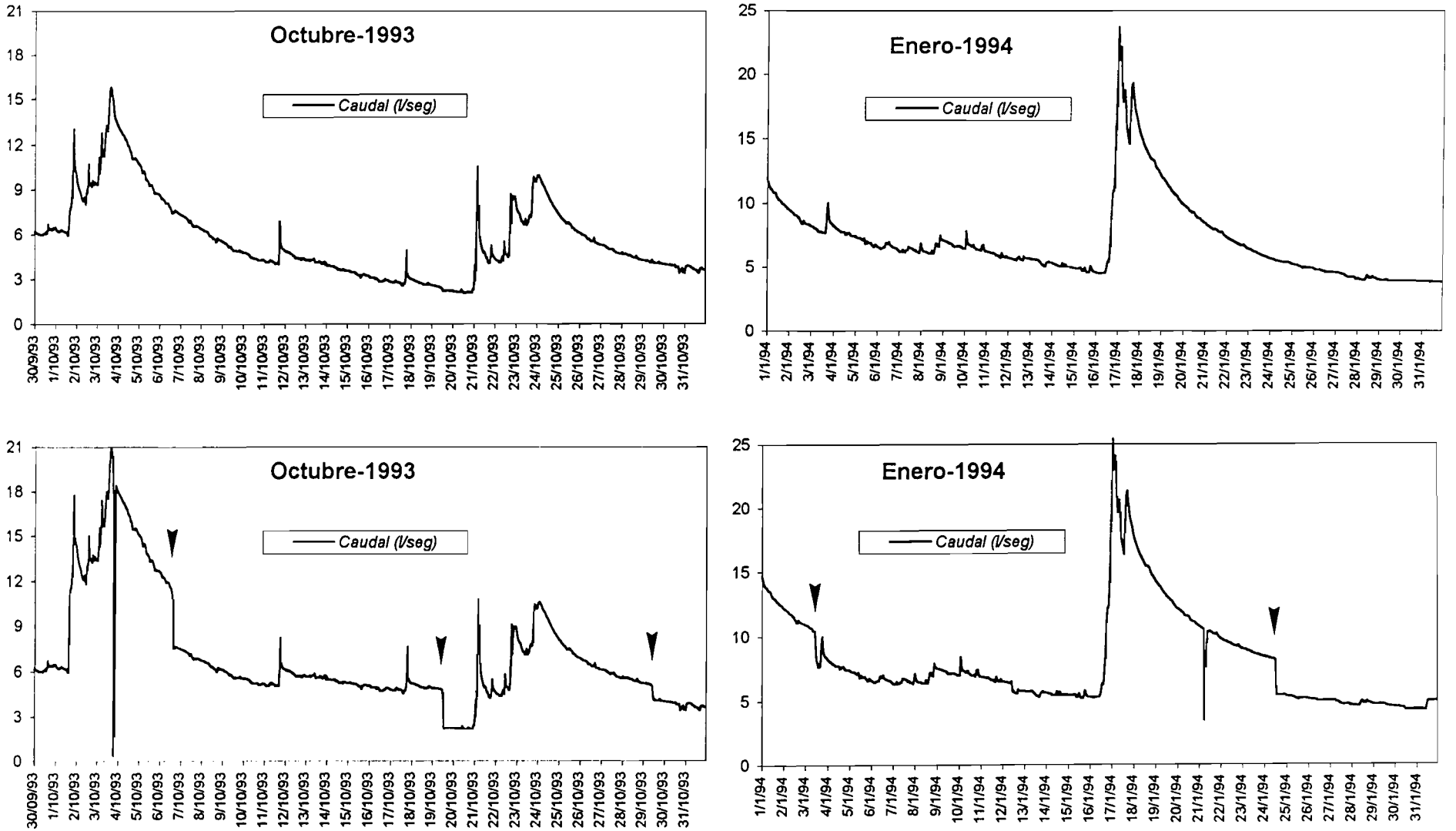


Figura 4.3. Comparación de hidrogramas de lixiviados antes (abajo) y después (arriba) de corregir los errores por efecto de la sedimentación en el aforador. Periodos con crecidas. Datos medios horarios (flechas verticales: operaciones de limpieza).

Sedimentación de finos en el aforador

A pesar de que el aforador Parshall fue diseñado de forma que se evitara en todo lo posible la sedimentación a lo largo del mismo y que la instalación en la arqueta de control fue realizada con sumo cuidado, se ha constatado de forma casi habitual la presencia de sedimentos en el fondo del aforador. La existencia de lechos de sedimentos falsea lógicamente los datos de altura de lámina de lixiviado que mide el caudalímetro (se registran valores superiores a los reales), y al transformarlos en caudales, al ser la ecuación del aforador de tipo exponencial, introducen un error considerable en los valores finales de caudal. Para evitar este problema, los datos de caudal deben ser corregidos en las ocasiones en las que se aprecie la existencia de este fenómeno.

La sedimentación de finos en el aforador se ha comprobado que se produce especialmente en periodos en los que suceden variaciones considerables de caudal, aunque también puede producirse en periodos con bajos caudales y sin apenas variación, y que, aunque frecuente, esta sedimentación no se produce en todas las ocasiones.

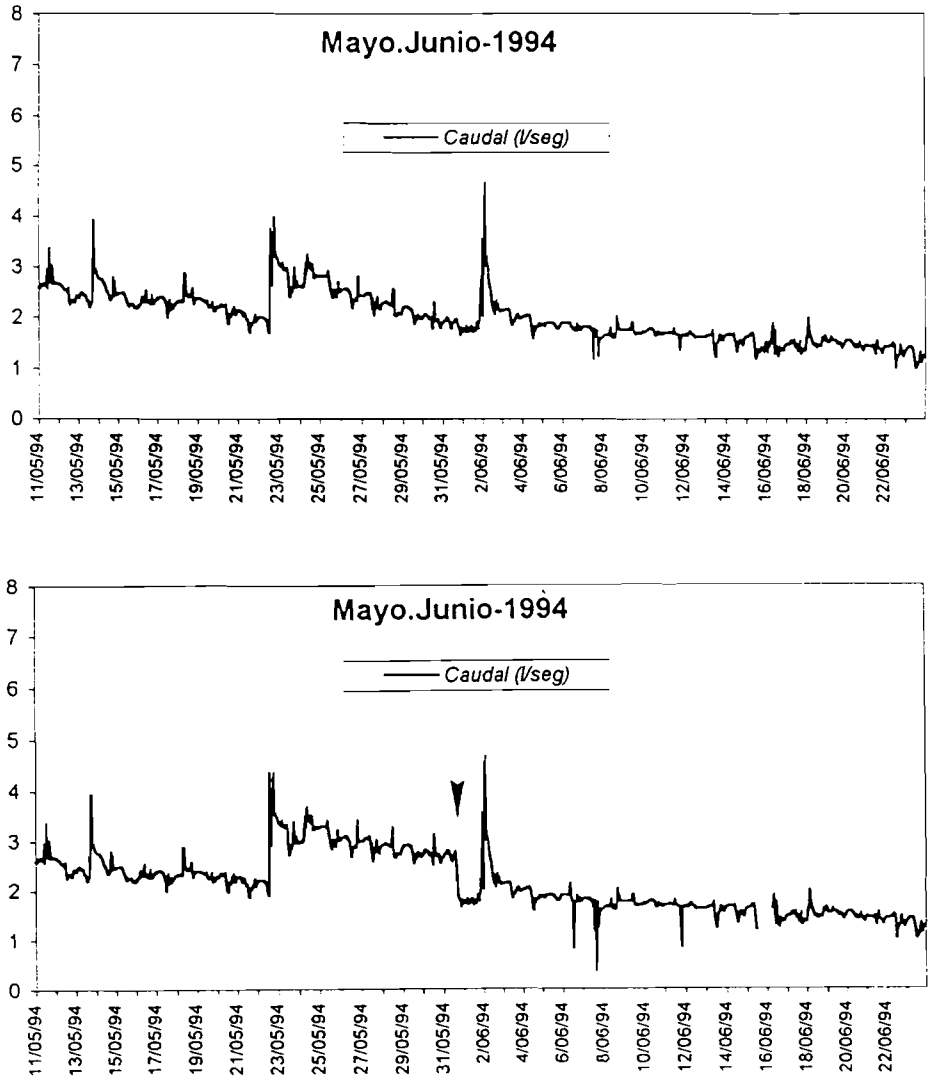


Figura 4.4. Comparación de hidrogramas de lixiviados antes (abajo) y después (arriba) de corregir los errores por efecto de la sedimentación en el aforador. Periodos sin crecidas importantes. Datos medios horarios (flechas verticales: operaciones de limpieza).

Ejemplos de sedimentación en periodos con crecidas pueden observarse en las gráficas inferiores de la Figura 4.3. En las gráficas superiores se muestran los hidrogramas definitivos tras las correcciones realizadas siguiendo la metodología que a continuación se comenta. En la Figura 4.4 se muestran procesos de sedimentación en periodos de bajos caudales y sin crecidas importantes, así como situaciones en las que no se produce sedimentación apreciable.

Corrección de las anomalías debidas a la sedimentación en el aforador

A pesar de que la sedimentación en el aforador, aunque es frecuente, no se produce en todas las ocasiones (no es constante en el tiempo), como punto de partida a la hora de corregir estos valores erróneos se ha considerado en todos los casos que la sedimentación se produce progresivamente en el tiempo desde que se realiza una labor de mantenimiento (con limpieza a fondo del aforador) hasta que se produce la siguiente labor de mantenimiento (justo antes de esta limpieza estaríamos en el instante de mayor error, mayor cantidad de sedimentos). A continuación se discute el método de corrección utilizado (ver también la Figura 4.5).

El primer dato registrado de altura de lámina de lixiviado tras realizar la limpieza del aforador (sedimentación nula) y haberse estabilizado la superficie, se considera como el primer dato de referencia (punto 1, de coordenadas (x_1,y_1), donde -x- es el número de registro tomado en un periodo de tiempo, por ejemplo un mes, e -y- es el valor de altura de lámina de lixiviado correspondiente a ese registro).

El último dato registrado antes de realizar una nueva limpieza del aforador, momento en el que la sedimentación es teóricamente la máxima y por tanto el valor de la altura el menos exacto, se corresponde con el punto 2, de coordenadas (x_2,y_2) si se considera el mismo sistema de referencia. Por último, el primer valor registrado tras la nueva limpieza del aforador (sedimentación nula de nuevo) y tras estabilizarse la superficie, se considera como el punto de referencia 3, de coordenadas (x_3,y_3). Una vez definidos estos 3 puntos de referencia, y a partir de la ecuación de la recta que pasa por los puntos 1 y 3, puntos con ordenadas totalmente correctas, se calcula el valor de la ordenada corregida del punto 2 (y_2') de la forma:

$$y_{2'} = \frac{(x_2 - x_1)\cdot(y_3 - y_1)}{(x_3 - x_1)}$$

Una vez conocido este valor, puede calcularse la diferencia máxima para ese intervalo entre los valores de altura de lámina medidos y corregidos, que corresponderán a los del punto 2, por simple resta:

$$\Delta_y = y_2 - y_{2'}$$

Para el intervalo considerado, limitado por los puntos 1 y 2, el incremento unitario de altura se calcula de la forma:

$$\Delta_{y_i} = \frac{y_2 - y_{2'}}{x_2 - x_1}$$

El valor corregido (y_{x_i}) de todos los puntos incluidos entre los puntos 1 y 2, puede calcularse a partir de la ecuación:

$$y_{x_i} = y_{x_i} - \left[\Delta_{y_i} \cdot (x_i - x_1)\right]$$

donde y_{xi} es el valor registrado

Una vez corregidos los valores de altura de lámina de lixiviado para todos los registros del intervalo, se calcula el caudal corregido aplicando la ecuación del aforador que es perfectamente conocida:

$$Q = 0{,}09166 \cdot \left[\left(\frac{y_{x_i}}{10}\right) - 4{,}33\right]^{1{,}916697}$$

La aplicación de esta metodología origina un pequeño error en el caso en que la ordenada del punto de referencia 3 sea superior a la del punto 1, pero este error es en todo caso despreciable frente a lo errores iniciales.

Caída de rayos

Este fenómeno natural ha sido el causante de las mayores pérdidas de información producidas a lo largo de los 4 años que ha durado el control de caudales de lixiviados. El emplazamiento del vertedero de Lapatx en una zona muy lluviosa en la que son relativamente frecuentes las tormentas acompañadas de aparato eléctrico ha condicionado de forma importante el funcionamiento del caudalímetro instalado. Las sobretensiones producidas dejaban los equipos totalmente inutilizados, siendo preciso desmontarlos, enviarlos a la empresa suministradora, esperar a su total reparación y proceder a su nueva instalación.

Los periodos sin registro de datos por este motivo han sido en ocasiones muy largos, hasta de tres meses en 1992, aunque normalmente no pasaban del mes y medio. En el periodo controlado, 4 años, el equipo se ha visto afectado por rayos en 5 ocasiones, 2 durante el periodo controlado por los laboratorios LABEIN (27-3-92 y 22-9-92), y 3 durante el control efectuado en el marco de este proyecto (21-6-93, 31-7-94 y 26-2-95), habiéndose perdido en total del orden de 9 meses de datos. Los datos perdidos por este motivo no han podido ser estimados mediante ningún método, por lo que han supuesto lagunas de información a la hora de estudiar las evoluciones de los parámetros controlados y han dificultado la obtención de valores medios.

Aparte del volumen de datos perdidos, es importante mencionar el interés de estos datos, puesto que, al producirse las sobretensiones durante tormentas, la información perdida corresponde a periodos sumamente interesantes en los estudios hidrológicos. Para evitar seguir padeciendo este tipo de problemas, a principios de 1995 se ha instalado un protector contra sobretensiones que tiene como misión salvaguardar la integridad de la estación y de los sensores.

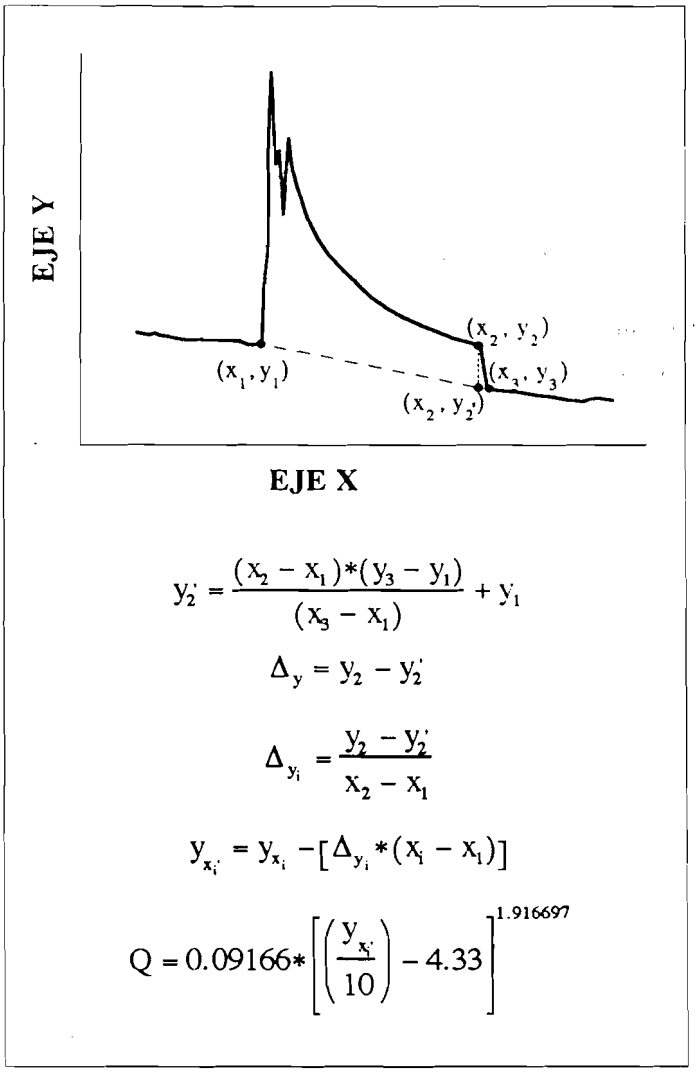


Figura 4.5. Método utilizado para corregir los efectos de la sedimentación en el aforador.

Cortes en el suministro

Debidos a cortes del cable de alimentación durante tareas de mantenimiento de las instalaciones del vertedero y a desenchufados fortuitos por parte de operarios del mismo. Estos problemas no han supuesto pérdidas importantes de datos (varios días a lo sumo en cada situación) y en ocasiones las pérdidas han sido únicamente de datos de caudal ya que la batería interna de la estación HYDRODATA-1256 (registro de temperatura, pH y conductividad) cubría las necesidades de alimentación de la misma. Los datos perdidos por este motivo tampoco han podido ser estimados mediante ningún método.

El caudalímetro ZULLIG posee una toma de alimentación diferenciada a la de la estación HYDRODATA-1256 aunque ésta almacena en última instancia los registros de caudal. Por ello, cualquier corte de suministro supone una pérdida inmediata de datos de caudal al no disponer el caudalímetro de ninguna batería interna.

Fallos en el registro de datos

Entre estos errores cabe mencionar los ocurridos en los meses Agosto-Septiembre de

1993 en los que se intentó sin éxito cambiar el sistema de alimentación de los equipos para evitar el problema de las sobretensiones. El sistema ensayado fue el de alimentación por baterías externas de 45 mA (las usadas normalmente en los coches) pero la escasa autonomía aportada y los problemas surgidos al volcar los datos obligaron a volver a utilizar el sistema anterior. En total se perdieron los registros de algo más de un mes.

También se ha dado algún caso en el que se han registrado ceros como datos de caudal durante periodos muy limitados (varias horas) sin que se sepa el motivo de tal hecho, así como picos aislados, negativos, sin relación con los registros adyacentes, que han tenido que ser corregidos posteriormente. Picos de este tipo pueden observarse en las gráficas inferiores de las figuras 4.3 y 4.4. Durante las operaciones de mantenimiento también suelen registrarse picos debidos a la manipulación de los sensores y que también han sido oportunamente corregidos.

4.2.5. ESTUDIO DE LOS HIDROGRAMAS Y DE LAS EVOLUCIONES DE TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD

4.2.5.1. CARACTERÍSTICAS Y DESCOMPOSICIÓN DE LOS HIDROGRAMAS

Intuitivamente se sabe que el caudal de lixiviados generados en un vertedero está controlado primordialmente por el régimen de precipitaciones. Así, todo aguacero caído sobre un vertedero da lugar, a la salida del mismo, a la aparición de un hidrograma concreto que puede considerarse como un reflejo de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones precipitaciones-caudal en dicho vertedero. Este planteamiento simplista entraña, sin embargo, una serie de procesos y mecanismos normalmente complejos que actúan conjuntamente y que condicionan en gran medida las relaciones lluvia-caudal.

A diferencia de lo que ocurre en cuencas vertientes s.s. en las que las aguas que componen la corriente del río principal pueden haber llegado al cauce por varios caminos posibles desde el momento que alcanzan la superficie del terreno en forma de precipitaciones de lluvia o nieve (escorrentía o flujo superficial, flujo hipodérmico, flujo subterráneo y por precipitación directa sobre las superficies de agua), (Llamas, 1989), en el caso de los vertederos, los posibles caminos se reducen considerablemente. En el caso de estas "cuencas particulares" las aguas que componen la corriente final de lixiviados, en periodos de crecida, únicamente disponen de 2 caminos: infiltración (rápida o lenta) y flujo de los lixiviados almacenados en el interior de los vertederos (flujo de base).

Las diferencias entre los procesos lluvia-caudal (reparto del volumen de agua de un aguacero) entre una cuenca vertiente normal y un vertedero se muestran en la Figura 4.6.

El flujo total integrante del hidrograma durante una crecida puede considerarse constituido, por tanto, exclusivamente por 2 componentes: por la infiltración rápida o flujo directo y por el flujo de base, relacionado este último con los lixiviados existentes en el vertedero previamente a los aguaceros. Se constata así que el caudal registrado a la salida del vertedero está compuesto por el solapamiento de diferentes aportes que en su conjunto configuran el hidrograma, cuyas características se describen a continuación.

Si se considera un aguacero y la crecida resultante, el hidrograma consta de 3 partes

diferentes, tal y como se muestra en la Figura 4.7:

- Segmento de acercamiento, AB.
- Curva de subida o de concentración, BC.
- Curva de recesión, CE.

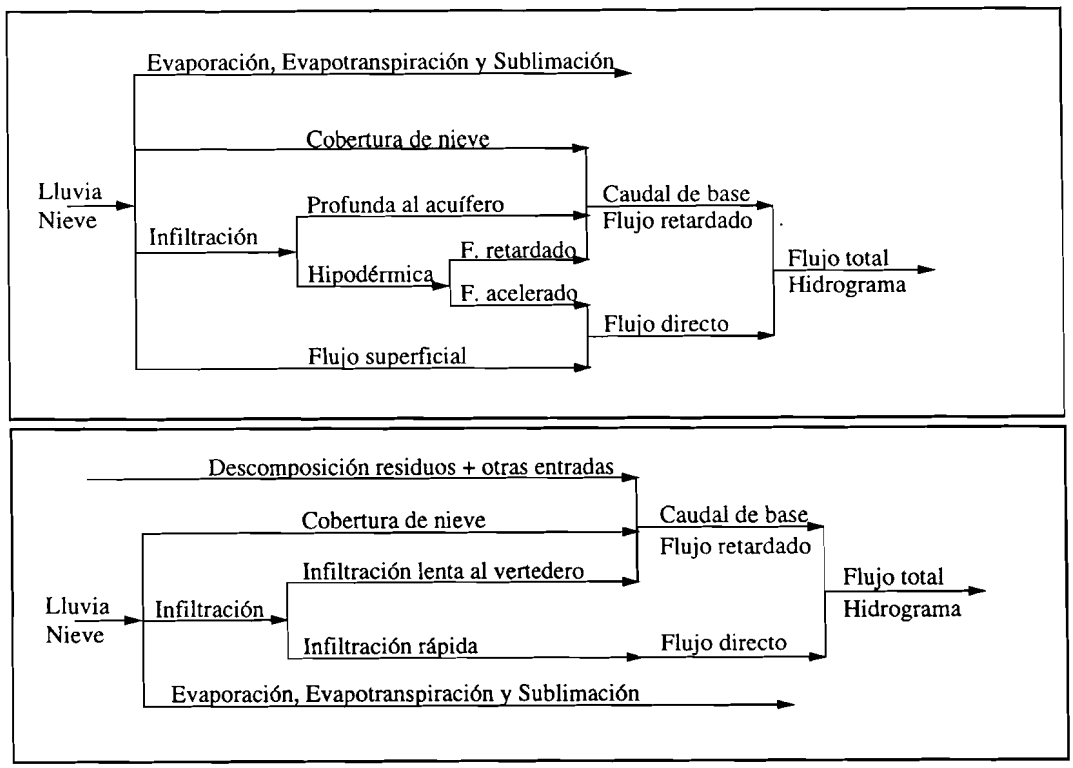


Figura 4.6. Procesos lluvia-caudal en una cuenca vertiente (arriba), según Llamas (1989), y en un vertedero (abajo).

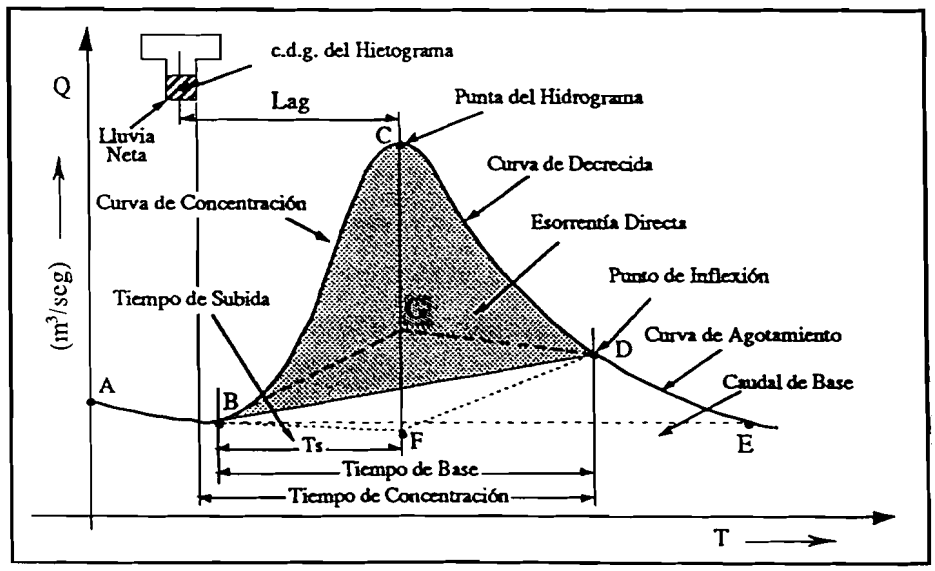


Figura 4.7. Partes de un hidrograma (modificado de Llamas, 1989).

En general la forma de la curva de concentración suele ser próxima a la de una recta, presentando la curva de recesión una concavidad característica que responde a 2 situaciones

hidráulicas bien diferentes, cada una de las cuales puede ser explicada por las correspondientes expresiones matemáticas.

La primera de ellas corresponde a la decrecida propiamente dicha y representa la progresiva disminución del flujo directo, generado en el vertedero durante la tormenta (Figura 4.7), la cual puede ajustarse a una función empírica característica. La segunda constituye el agotamiento propiamente dicho y representa la contribución de la componente de base al hidrograma, cuyo caudal sigue una ley de decrecimiento exponencial a partir del punto D. Otras características generales de los hidrogramas así como las definiciones de los distintos parámetros de tiempo considerados pueden consultarse en Llamas (1989).

Separación de los componentes de un hidrograma

La separación de los componentes de un hidrograma, flujo directo y flujo de base, es la operación previa para análisis posteriores. En este sentido, debido a que no existe una base física real clara para su diferenciación en el caso de cualquier caudal circulante en un instante cualquiera, y puesto que las definiciones de dichas componentes resultan en ocasiones arbitrarias, el método de separación del hidrograma puede ser igualmente arbitrario, especialmente en el caso de los métodos gráficos. Dentro de éstos pueden mencionarse los siguientes:

- El más simple consiste en trazar una línea recta horizontal desde el punto donde se inicia el ascenso del hidrograma (B) hasta su intersección con la curva de agotamiento (E). A pesar de estar muy extendido su uso, en general proporciona unos tiempos de base excesivamente grandes.

- Otro procedimiento muy utilizado consiste en prolongar la curva de agotamiento anterior a la crecida hasta un punto (F) bajo el pico del hidrograma y posteriormente conectar ese punto con el situado sobre el hidrograma que marca el final del flujo directo (punto D, Figura 4.7).

- También puede unirse los puntos B y D. El punto D representa el final del flujo directo y su localización en el hidrograma aparece normalmente definida por una ligera inflexión en la curva de recesión. Este tipo de separación es en general más realista que los anteriores, especialmente cuando el aporte de flujo subterráneo es relativamente importante y se incorpora con rapidez al flujo total.

- Un último método gráfico consiste en prolongar la curva de agotamiento posterior a la crecida hasta un punto (G) bajo el pico del hidrograma y posteriormente unir los puntos BGD, realizando estas operaciones en el hidrograma representado en escala semilogarítmica. La parte del flujo bajo BGD representaría el flujo de base.

Otro tipo de métodos utilizados para la separación de los componentes de los hidrogramas, y con base física real, son los basados en el estudio de la evolución del quimismo de parámetros conservativos (métodos químicos). Estos métodos se basan en el principio de que el agua de diferentes procedencias posee características químicas diferentes, y que la contribución relativa de cada una de ellas puede ser evaluada si se controla el caudal y el quimismo de la mezcla resultante (concentración de algún ión concreto o valor de la

conductividad eléctrica). Asumiendo que no se produce ninguna reacción química cuando se combinan las aguas de distinta procedencia, puede aplicarse la ecuación del balance de masas:

$$C_T Q_T = C_1 Q_1 + C_2 Q_2 + \ldots\ldots + C_n Q_n$$

donde:

C_T: concentración del elemento conservativo en el caudal resultante ($M \cdot L^{-3}$).

Q_T: caudal resultante ($L^3 \cdot T^{-1}$).

C_n: concentración del elemento conservativo en cada flujo de agua ($M \cdot L^{-3}$).

Q_n: caudal de cada flujo de agua ($L^3 \cdot T^{-1}$).

El caso más simple sería aquel en el que un caudal resultante (Q_T) con una concentración dada (C_T), sea resultado de la mezcla del flujo rápido (infiltración rápida de la lluvia en el caso de un vertedero, Q_{LL}) y de la aportación del flujo de base (aportación de lixiviados almacenados en el vertedero, Q_{LIX}). En este caso, la contribución del flujo de base puede calcularse resolviendo una ecuación derivada de la ecuación del balance de masas citado líneas arriba:

$$Q_{LIX} = \frac{Q_T \cdot (C_T - C_{LL})}{C_{LIX} - C_{LL}}$$

donde:

C_{LL}: concentración del elemento conservativo en el agua de infiltración rápida ($M \cdot L^{-3}$).

C_{LIX}: concentración del elemento conservativo en los lixiviados ($M \cdot L^{-3}$).

Descomposición química de hidrogramas de lixiviados de Lapatx

Esta metodología de descomposición química de hidrogramas se ha aplicado en 5 ocasiones en el caso del vertedero de Lapatx con vistas a identificar la contribución relativa de la aportación de lixiviados al caudal total resultante durante diferentes periodos de tiempo. En concreto, se ha aplicado a 4 periodos en los que se producen crecidas aisladas en sentido amplio (consecuencia de precipitaciones ocurridas en 1-3 días), así como a un periodo de tiempo mayor (del 30-12-94 al 31-1-95), en el que se producen crecidas sucesivas. En los 5 casos se han utilizado como datos de partida valores horarios de caudal y de conductividad de los lixiviados calculados como medias de los valores registrados cada 10 minutos por los equipos de control. Las gráficas de estas 4 crecidas y del 5° periodo seleccionado se muestran en la Figura 4.8.

En la Tabla 4.4 se indican los parámetros característicos de estos periodos (fechas de inicio y final, n° de días de cada periodo, caudal medio (Qm), rango de caudales, aportación total y precipitaciones registradas). También se indican los valores de conductividad de lixiviados (C_{LIX}) y de conductividad de las aguas de lluvia (C_{LL}) utilizados en cada caso, así como los resultados obtenidos, % Q_{LIX} (% Q_{base}) y % Q_{LL} (% $Q_{Infiltr.ráp.}$).

	Periodo	n° días	Qm (l/seg)	Rango (l/seg)	Aportación (m^3)	Pp (mm)	C lix (mS/cm)	C ll (mS/cm)	% Qbase	% Qinfiltr.ráp.
1	30/9/93 a 10/10/93	11	7,94	4,24-15,8	7.542	77	2,75	0,03	83,5	16,5
2	5/11/93 a 23/11/93	19	3,57	2,61-8,35	5.863	61,4	2,60	0,03	85,5	14,5
3	14/1/94 a 1/2/94	19	6,82	3,57-23,68	11.190	95,2	2,11	0,03	81,4	18,6
4	18/12/95 a 29/12/95	12	6,31	1,35-42,72	6.541	161,8	2,19	0,03/0,06	62,1/61,4	37,9/38,6
5	30/12/94 a 31/1/95	33	9,11	3,5-44	25.968	249,2	2,25	0,03	76,1	23,9

Tabla 4.4. Resultados de la descomposición química de hidrogramas. Vertedero de Lapatx.

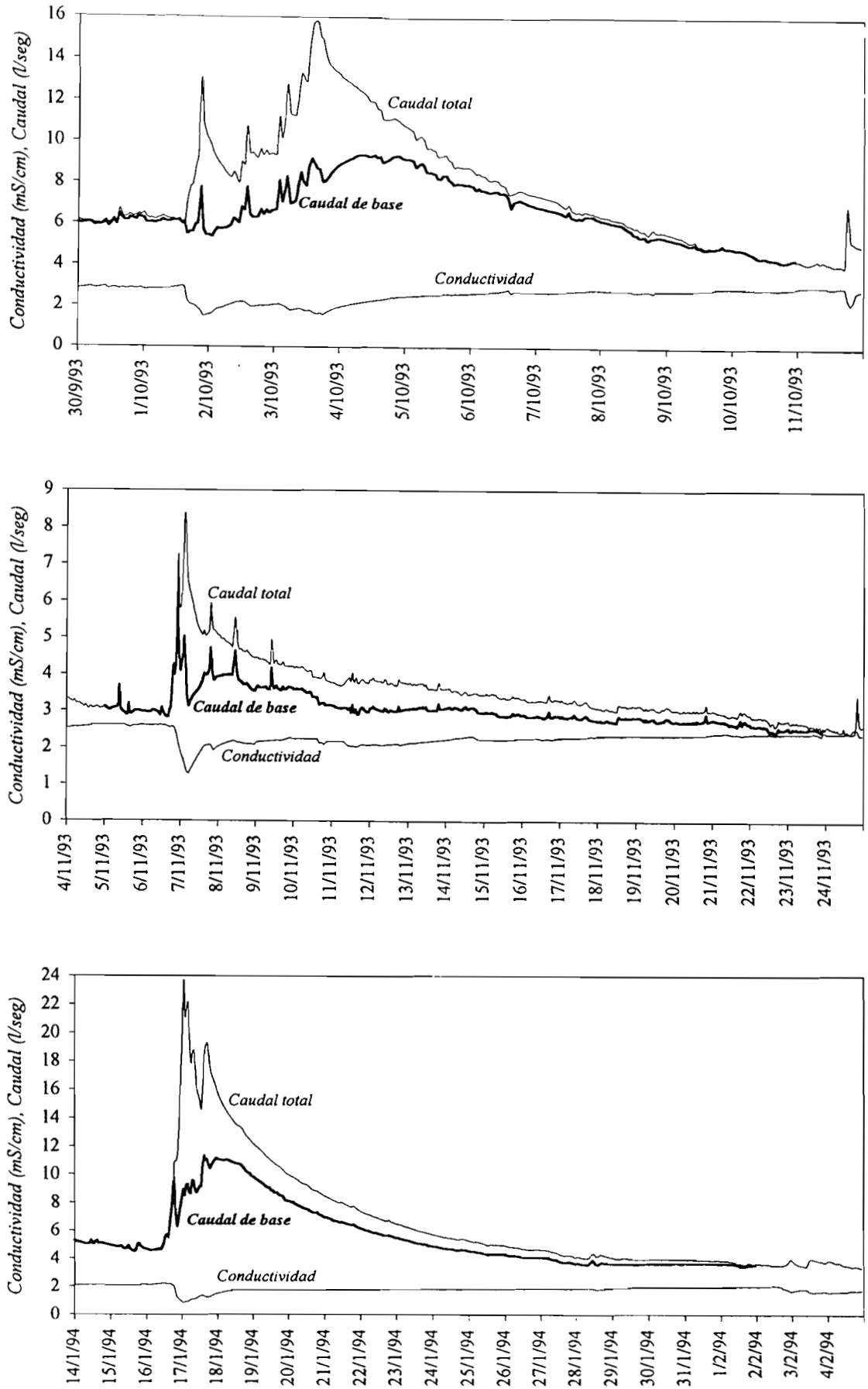


Figura 4.8. Descomposición química de los hidrogramas correspondientes a distintos periodos (30-9-93 a 11-10-93, arriba; 4-11-93 a 24-11-93, en medio; 14-1-94 a 4-2-94, abajo) utilizando datos horarios de conductividad.

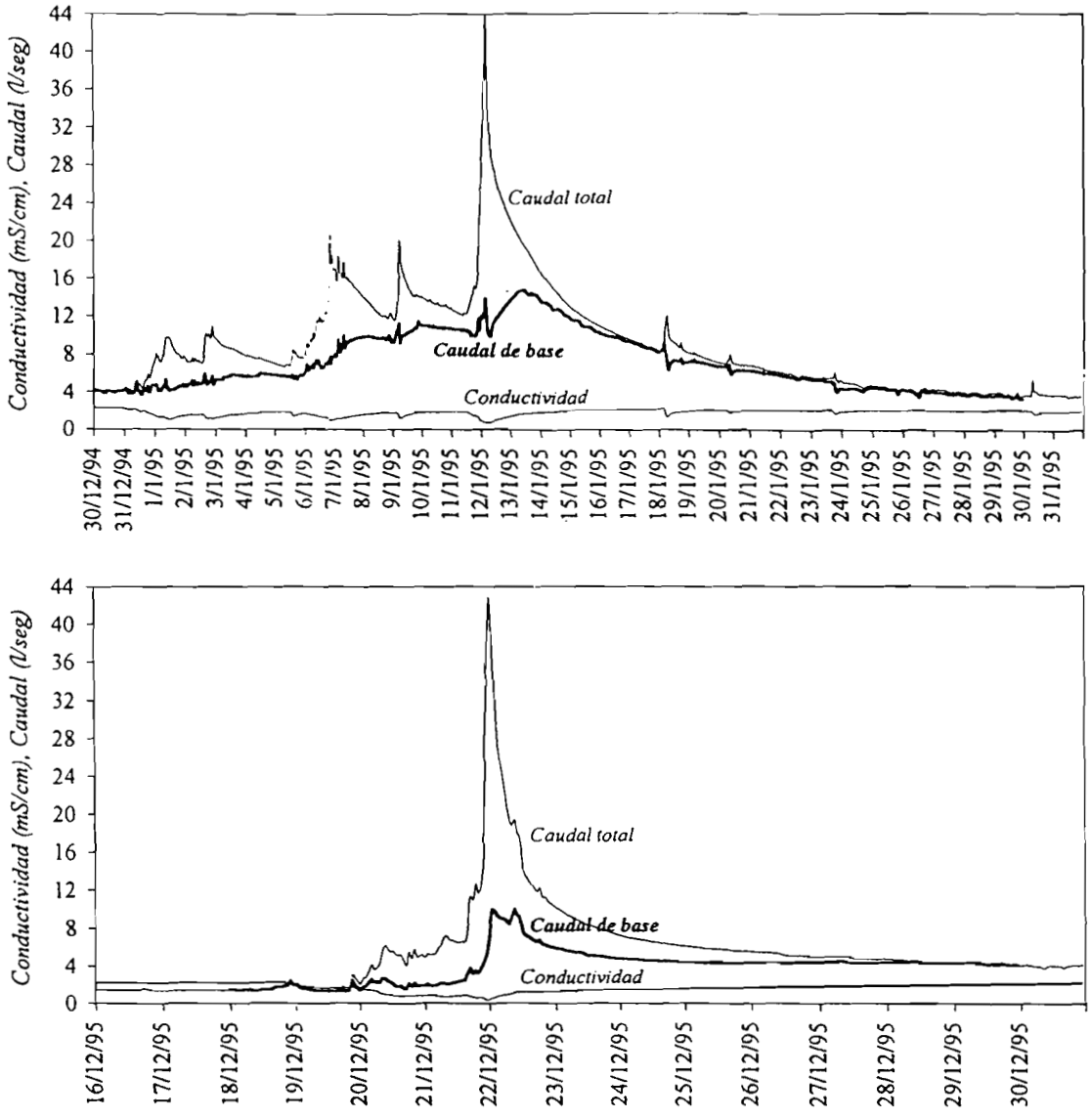


Figura 4.8. (continuación). Descomposición química de los hidrogramas correspondientes a distintos periodos (30-12-94 a 31-1-95, arriba; 16-12-95 a 30-12-95, abajo) utilizando datos horarios de conductividad.

Las 4 crecidas (primeros 4 periodos) se han seleccionado con el criterio de que se alcanzaran valores punta diferentes (entre 8,35 y 42,72 l/seg). Con ello se ha pretendido abarcar diversas situaciones hídricas (la cuantía de las precipitaciones responsables varía entre 61,4 y 161,8 mm, y los caudales medios resultantes entre 3,57 y 7,94 l/seg). La duración de estos periodos varía entre 11 y 19 días incluyendo las correspondientes decrecidas.

Como valor de conductividad de las lluvias (C_{LIX}) se ha considerado en todos los casos 0,03 mS/cm (Durana *et al.*, 1990). En la crecida del 4° periodo (del 18-12-95 al 29-12-95) también se ha utilizado el valor de 0,06 mS/cm al objeto de comparar los valores resultantes. Las diferencias obtenidas al utilizar ambos valores son mínimas. El % de caudal de base (aportación de lixiviados) desciende de 62,1 a 61,4 l/seg, lo que prueba que no es imprescindible, en estos casos, disponer de datos de conductividad de lluvias de gran exactitud dada la notable diferencia existente con los de conductividad de lixiviados (en los periodos elegidos los valores de C_{LIX} usados varían entre 2,11 y 2,75 mS/cm).

Por el contrario, sí que es necesario disponer de datos de C_{LIX} exactos ya que pequeñas diferencias en ellos introducen variaciones importantes en los resultados finales. Así, en el 2º periodo (del 5-11-93 al 23-11-93), si utilizamos como C_{LIX} el valor de 2,78 en lugar de 2,60 mS/cm, el porcentaje de Q_{LIX} desciende del 85,5 al 79,9%. Los valores de C_{LIX} se han obtenido analizando exhaustivamente las evoluciones de la conductividad durante los días previos a las crecidas, en los que, como puede verse en las gráficas de la Figura 4.8, normalmente permanecen muy estables.

En los 5 periodos considerados se obtienen contribuciones muy importantes del caudal de base (aportación de lixiviados). El porcentaje de estas contribuciones está comprendido entre el 62,1 y el 85,5%. Llama la atención la similitud de resultados obtenidos en las 3 primeras crecidas (entre el 81,4 y el 85,5%). Estos valores son más altos que los referenciados por otros autores (Pilgrim *et al.*, 1979; Hirata *et al.*, 1988), aunque debe hacerse la mención de que se refieren a hidrogramas, no de vertederos de R.S.U., sino de pequeñas cuencas hidrológicas. Sólo Caissie *et al.*, (1996), trabajando en una pequeña cuenca de Canadá (52 km^2) obtiene contribuciones de los aportes subterráneos, para eventos de corta duración, superiores a los obtenidos en nuestro caso (de hasta el 91%).

4.2.5.2. ANÁLISIS DE HIDROGRAMAS. MÉTODOS EMPLEADOS

El estudio de los hidrogramas de los sistemas hidrológicos (cuencas vertientes, acuíferos, vertederos) ha sido ampliamente utilizado para extraer información relativa a la hidrodinámica de dichos sistemas, entendiendo aquí por hidrodinámica, la identificación de la variación espacial y temporal (a lo largo de los años hidrológicos) de los procesos actuales en el sistema considerado, de las implicaciones entre ellos, y de sus influencias en la relación entradas-salidas.

Lo fundamental para la correcta investigación del hidrograma reside en el establecimiento de la diferenciación entre tránsito de agua y transferencia de energía. Dos hidrogramas parecidos relativos, por ejemplo, a un episodio de crecida, pueden tener explicaciones muy distintas según se trate de un tránsito del propio agua que genera la crecida, o de una transferencia de energía en la que el agua expulsada en la crecida llevaba un cierto tiempo de residencia en el sistema, o bien de una situación intermedia entre ambas, con mezclas de aguas jóvenes, frescas, y aguas más viejas (Antigüedad, 1995).

Las metodologías empleadas en este estudio para la investigación hidrodinámica de los vertederos están basadas en el estudio de las respuestas naturales del mismo (hidrograma), y sobre la base de que la reacción de este sistema ante una alimentación dada, sea energética o de materia, está fuertemente influenciada por la distribución de las propiedades físicas en él.

Los hidrogramas pueden ser analizados en su globalidad, un año hidrológico al menos (análisis correlatorio y espectral, análisis de la curva de caudales clasificados) o considerando sólo algunas de sus partes (curvas de recesión, secuencias crecida-decrecida para diferentes situaciones de detalle). A continuación se comentan brevemente cada una de estas técnicas.

Método de caudales clasificados

La curva de caudales clasificados representa el porcentaje de valores del periodo

considerado en el que el caudal tiene un valor igual o inferior a uno dado. Expresa, por tanto, la regularidad o irregularidad de la crónica de caudales, o dicho de otra manera, la frecuencia con la que se presenta un determinado caudal. Si se divide dicha frecuencia absoluta por el número de días considerado (sea un año o un ciclo hidrológico de duración concreta) se expresará en ordenadas la frecuencia relativa en el periodo estudiado.

El análisis de estas curvas puede aportar un cierto grado de conocimiento sobre el modo en que se desarrolla el flujo en el sistema considerado y, por comparación con sistemas próximos sometidos a similares condiciones meteorológicas, sobre las semejanzas o diferencias entre ellos.

Análisis correlatorio y espectral

Los estudios hidrológicos requieren en general el control en el tiempo de numerosos parámetros de índole diversa, tales como precipitaciones, caudales, piezometría, etc. El registro continuado de estos parámetros proporciona un gran volumen de información para cuyo estudio deben aplicarse técnicas de análisis de series temporales. Dentro de éstas, los análisis correlatorios y espectrales (ACE) han sido una de las que mejores acogidas han tenido a lo largo de las últimas dos décadas para la caracterización y cuantificación de dichas series temporales.

Estos métodos de análisis de series fueron desarrollados principalmente por Hannan (1970), Brillinger (1975), y Box & Jenkins (1976), y posteriormente utilizados por muchos autores como métodos descriptivos e identificadores de la estructura y componentes de sistemas hidrológicos-hidrogeológicos, fundamentalmente acuíferos kársticos, pudiéndose destacar los trabajos de Mangin & Pulido (1983), Mangin (1984), Obartí (1987), Antigüedad *et al.* (1988) y Padilla (1990). Un desarrollo matemático completo de esta metodología puede encontrarse en estas referencias así como en Llanos (1992).

El estudio convencional de series temporales mediante los análisis correlatorios y espectrales puede efectuarse desde 2 perspectivas o dominios diferentes:

- Dominio temporal (análisis correlatorio).
- Dominio frecuencial (análisis espectral).

En cada uno de ellos puede considerarse así mismo los análisis univariante y bivariante, más conocidos como análisis simple y cruzado respectivamente. En los análisis simples cada una de las series (lluvias y caudal normalmente) se trata con independencia a fin de conocer la estructura de la serie y de sus componentes periódicas, mientras que en los análisis cruzados ambas crónicas se consideran conjuntamente, lo que permite establecer las relaciones lluvias-caudal, esto es, analizar la medida en que la señal de entrada sufre modificaciones a su paso por el sistema que las conecta (función filtro), y a partir de ello caracterizar y deducir algunas de sus propiedades.

Las funciones que se consideran en cada dominio son fundamentalmente, en el análisis simple, la función de autocorrelación (dominio temporal) y la función de densidad espectral (dominio frecuencial); y en el análisis cruzado, la función de correlación cruzada (dominio temporal), y las funciones de amplitud cruzada, fase, coherencia y ganancia (dominio

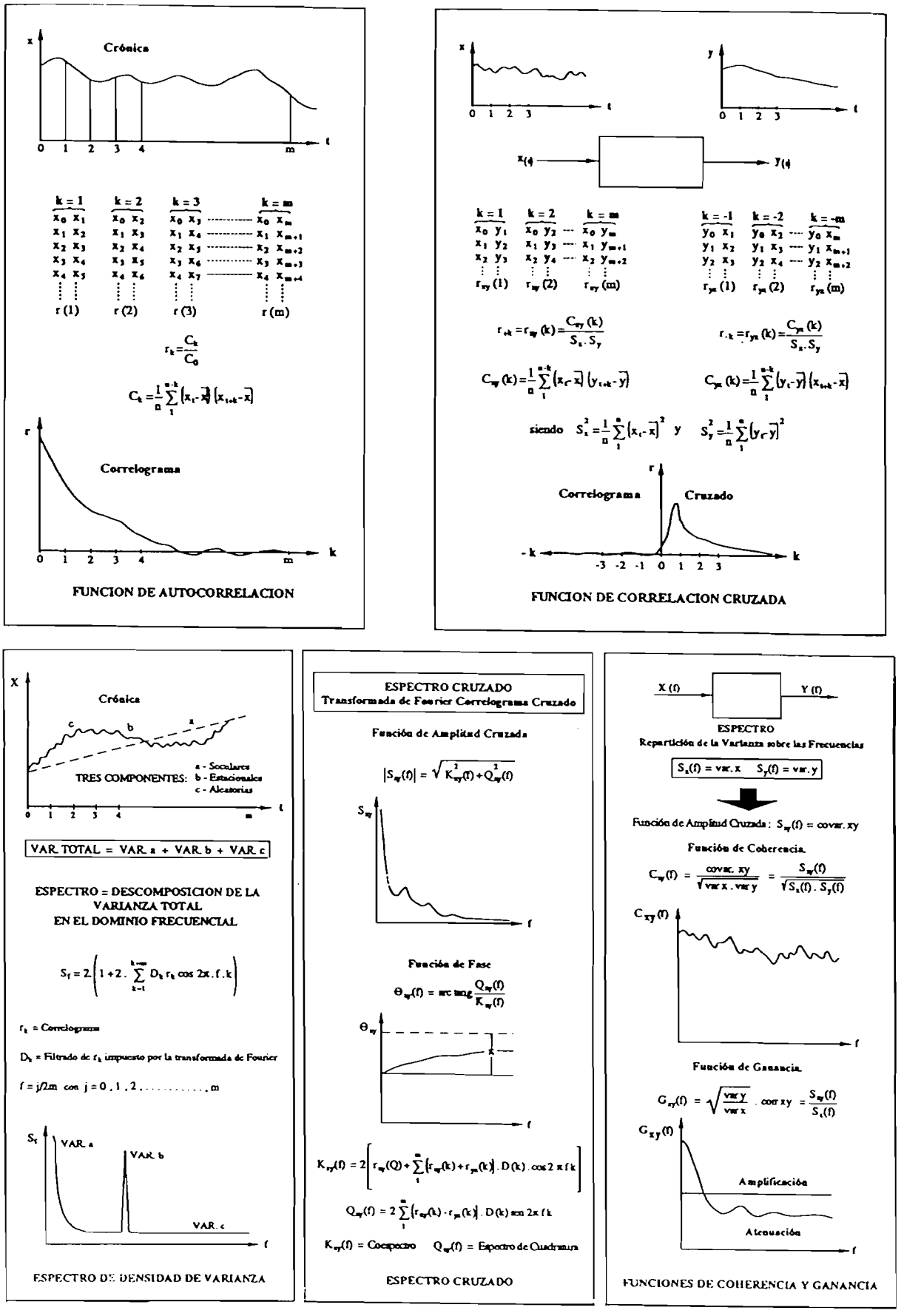


Figura 4.9. Descripción de las funciones analizadas en el dominio temporal (arriba) y frecuencial (abajo), (Llanos, 1992).

frecuencial). La descripción de estas funciones se muestra en las Figuras 4.9 (tomado de Llanos, 1992).

El análisis correlatorio y espectral sirve como ya se ha comentado para describir los sistemas hidrológicos, y por tanto, para su comparación a partir de una serie de parámetros deducibles mediante este análisis (Mangin, 1984): efecto memoria, banda espectral, tiempo de regulación e hidrograma unitario (imagen del correlograma cruzado).

La noción de memoria en términos de información equivaldría a reservas en términos hidraúlico y se define como el valor de k, en días, que corresponde al paso del valor del coeficiente de autocorrelación de la serie de caudales de 0,2 a 0,1. La atenuación de ciclicidades (análisis espectral) se debería al poder regulador de los sistemas en relación con la importancia de sus reservas; se define así el tiempo de regulación como aquel que corresponde a la duración de la influencia de un impulso unitario de lluvia sobre el sistema y su valor se establece en $S_{fo}/2$. El concepto de anchura de banda espectral (F_c) hace referencia al valor de la frecuencia a partir del cual el filtrado de la información lluvia comienza a ser evidente. En conjunto, estos análisis evidencian el grado de organización del drenaje y la importancia de las reservas del sistema.

Análisis de la curva de recesión

Dentro del hidrograma, es la curva de recesión (parte decreciente del mismo que se extiende entre la punta de una crecida hasta el comienzo de la crecida siguiente) la que presenta mayor interés. Mangin (1975) propone un modelo de análisis que pretende caracterizar mediante parámetros simples las 2 partes en que se puede dividir dicha curva: una primera parte (decrecida propiamente dicha, $\emptyset_{(t)}$), no exponencial, en la que el caudal disminuye rápidamente, y una segunda (agotamiento, $\Phi_{(t)}$), en la que el caudal disminuye lentamente de forma exponencial. En definitiva, la parte decreciente del hidrograma puede ser considerada como la suma de 2 componentes (Figura 4.10), según la ecuación:

$$Q_{(t)} = \emptyset_{(t)} + \Phi_{(t)}$$

De estas 2 componentes sólo se considera en este estudio $\Phi_{(t)}$ por ser la que más información aporta. $\Phi_{(t)}$ representa el agotamiento y depende de la zona saturada del sistema, informando sobre la forma en que se produce su vaciado una vez que ha cesado la influencia de la infiltración a través de la zona no saturada. La expresión matemática más adecuada para el cálculo de esta componente es la fórmula de Maillet:

$$\Phi_{(t)} = Q_o \cdot e^{-at}$$

donde Q_o es el caudal al inicio del agotamiento, t el tiempo transcurrido desde ese momento y a el coeficiente de agotamiento, de dimensiones T^{-1}, que se calcula a partir de la transformación logarítmica de la ecuación anterior. De este modo, se puede fácilmente calcular a y Q_o, ya sea gráficamente o numéricamente mediante un ajuste lineal por mínimos cuadrados. La pendiente de la recta (a), Figura 4.10, será expresiva del mayor o menor ritmo de vaciado de la zona saturada y, por tanto, de la capacidad reguladora del sistema.

En ocasiones también se trabaja con el concepto "periodo de agotamiento" definido

como el número de días necesario para que el caudal se reduzca a su décima parte, y que se calcula fácilmente al ser el inverso de a, así como con el "volumen dinámico" (V_d), calculado por integración de la ecuación de Maillet y que representa el volumen almacenado en la zona saturada por encima de la cota de surgencia en el momento que se alcanza la punta de crecida.

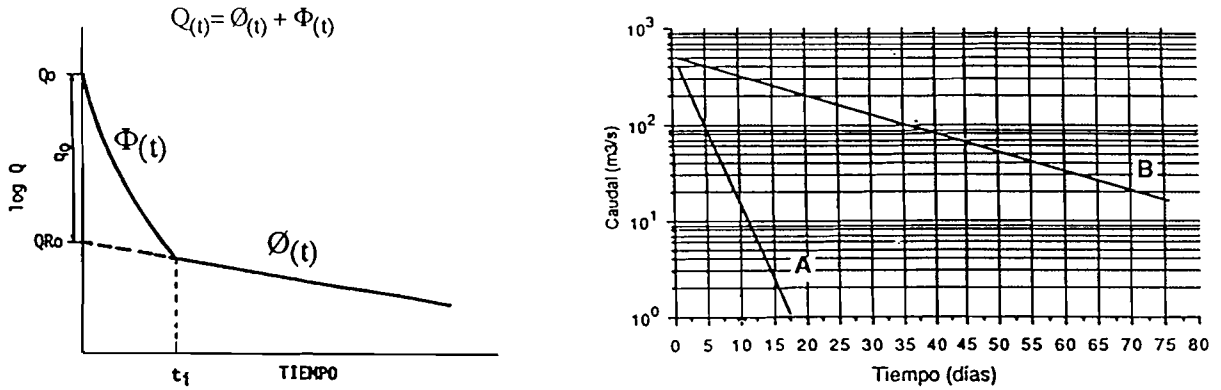


Figura 4.10. Izquierda: descomposición de la curva de recesión (Mangin, 1975). Derecha: ejemplo de dos modos de vaciamiento de un sistema hidrológico: A (agotamiento rápido), B (agotamiento lento).

Análisis de la secuencia crecida-decrecida

Consistente en estudiar las formas concretas que presenta el hidrograma en diferentes momentos del año hidrológico. Se considera por tanto que además de las curvas de decrecida y agotamiento las curvas de crecida también aportan una información considerable.

Se estudian las respuestas observadas en la salida del sistema ante diversos episodios meteorológicos (eventos de precipitaciones aisladas, continuadas, de intensidades y duraciones variables, etc.).

4.2.5.3. EVOLUCIÓN GENERAL DEL CAUDAL, TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD. VALORES MEDIOS

En este apartado y en el siguiente se presenta la totalidad de la información disponible válida tras controlar durante 5 años (entre Julio de 1991 y Junio de 1996) las cantidades y calidades de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Previamente se han eliminado (ver 4.2.4) los periodos de registro erróneos para cada parámetro controlado, todos los datos de pH, se han corregido los errores debidos a la sedimentación en el aforador así como el resto de anomalías existentes (picos relacionados con labores de mantenimiento, otros picos aislados, etc.).

En la Figura 4.11 se muestran los periodos que cuentan con registros en continuo de caudal. Con línea más clara (gris) se indican los periodos de los que se dispone únicamente de datos de caudal, mientras que con línea negra se marcan los periodos en los que estuvo activa la estación HYDRODATA-1256, disponiéndose en la mayoría de las ocasiones, además de datos válidos de caudal, también de datos de temperatura y conductividad.

Del total de 60 meses de control de caudales, se han perdido los registros correspondientes a 8 meses completos y a partes de otros 17 meses. Traducido a número de

días, se dispone de información referente a 1.340 días de un total de 1.827, lo que supone el 73,3% del periodo controlado. Estas pérdidas de información se deben fundamentalmente a descargas eléctricas que, como ya se ha comentado, inutilizaban por completo los equipos de control. Los periodos sin datos son más abundantes en la primera fase de control, hasta Marzo de 1993, disminuyendo sustancialmente durante la segunda fase, en la que se lleva a cabo un mantenimiento más continuado.

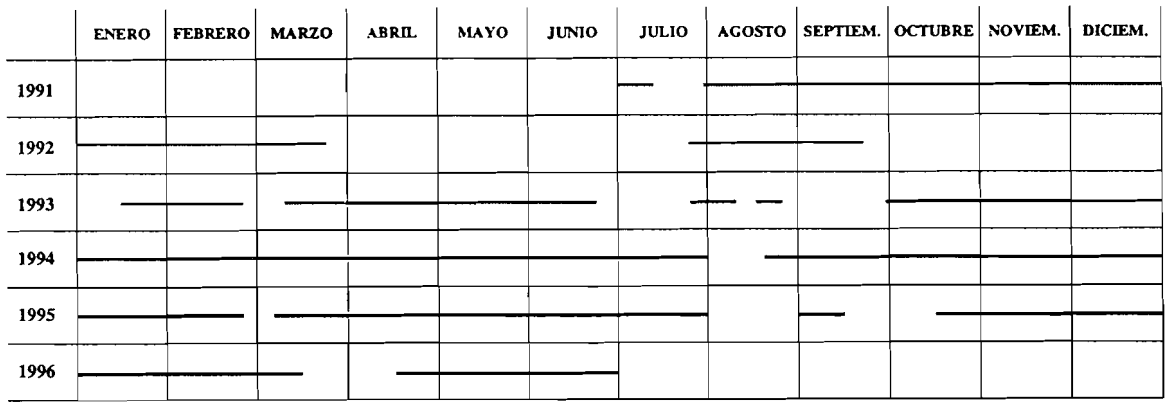


Figura 4.11. Periodos con registro de datos en continuo en el vertedero de Lapatx (línea gris: caudalímetro ZULLIG + datalloger RUSTRAK; línea negra: caudalímetro ZULLIG + estación HYDRODATA-1256).

Evolución general del caudal y valores medios

En las Figuras 4.12 y 4.13 se presenta la evolución general de caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx en base a la información disponible.

En la primera de las figuras, realizada a partir de datos medios diarios, se presentan la totalidad de los datos de caudal existentes en el periodo estudiado y su relación con la precipitación registrada en la estación de Azkoitia-Iberdrola (código 1037Q) gestionada por el Centro Meteorológico Territorial del País Vasco.

Como ya se comentó en profundidad en el capítulo 3 (Generación de lixiviados en vertederos de R.S.U.), la precipitación es el factor que condiciona en mayor medida la cantidad de lixiviados generados. Aunque éste es un hecho bien conocido desde un punto de vista teórico, lo cierto es que no se dispone de mucha información práctica, obtenida a partir de vertederos en activo y no de experimentaciones en laboratorio o en lisímetros, sobre la respuesta del vertedero a esos aportes de agua externa: tiempo de respuesta, amplitud de los aumentos de caudal, forma de las curvas de crecida y decrecida, etc. Es por ello, por lo que en las gráficas de caudales de este apartado y de los siguientes se incluyen también las precipitaciones diarias o incluso horarias registradas en las estaciones cercanas.

Del estudio de esta primera gráfica pueden extraerse distintas conclusiones:

- Es más que evidente que las evoluciones de caudal están condicionadas por las precipitaciones caídas sobre el vertedero. Toda precipitación medianamente importante provoca incrementos de caudal de mayor o menor cuantía (en el apartado siguiente se trata con profundidad los diferentes tipos de respuesta del vertedero ante diversos episodios meteorológicos). Los desfases existentes entre las precipitaciones y los consiguientes

aumentos de caudal son siempre menores de un día.

- Las variaciones de caudal son muy importantes. Así, mientras que en periodos de fuertes lluvias los caudales alcanzan e incluso superan en ocasiones los umbrales de medida del caudalímetro (unos 44 l/seg), en periodos secos no sobrepasan los 2 l/seg. La existencia de ciertas cantidades de agua procedente del exterior del vertedero que penetran en él debido a un diseño incorrecto del canal perimetral en 2 puntos concretos (construcción sobre materiales coluviales) puede ayudar a explicar estas variaciones tan grandes de caudal. También el mantenimiento inadecuado de la red de drenaje de lixiviados en el área del vertedero aún sin ocupar (arquetas rotas) puede traducirse en la entrada de aguas limpias al dren principal que teóricamente no debiera producirse.

- El caudal medio del periodo estudiado (calculado como media de los valores medios diarios existentes) es de 3,16 l/seg, lo que puede ser considerado como una cantidad apreciable. El caudal mínimo es de 0,35 l/seg, sobrepasando el caudal máximo el valor del umbral de medida del caudalímetro, 44 l/seg, aunque debe decirse que este hecho sólo se ha producido una única vez a lo largo de los 5 años controlados.

- Las crecidas o aumentos de caudal se producen muy rápidamente siendo las curvas resultantes prácticamente verticales. En cambio, las curvas de decrecida son más tendidas debido a la salida progresiva de los lixiviados retenidos en el interior de la masa de vertidos.

La red de drenaje de lixiviados existente en el vertedero de Lapatx, constituida por un conjunto de drenes en forma de espina de pez, favorece en parte el hecho de que la respuesta del vertedero sea rápida ante precipitaciones de cierta importancia puesto que va a permitir que, en toda la extensión del vertedero en activo, las aguas de infiltración rápida, una vez hayan alcanzado el dren más cercano, fluyan rápidamente hasta la arqueta final donde se controlan los caudales. De no existir esta red de drenaje, las aguas infiltradas rápidamente en la zona más alejada de la arqueta de control tardarían bastante más tiempo en ser expulsadas del vertedero que aquellas infiltradas en zonas del vertedero cercanas a dicha arqueta.

En la segunda de las figuras, realizada también a partir de datos medios diarios, se presentan las evoluciones del caudal de lixiviados de forma comparativa en los diferentes años hidrológicos controlados. En estas gráficas puede observarse cómo los máximos caudales suelen darse en los meses de Noviembre-Diciembre-Enero y Abril, que son los meses más lluviosos históricamente (ver Figura 4.37). Por contra, los caudales más bajos se concentran en los meses menos lluviosos (meses de Mayo a Septiembre).

En la Tabla 4.5 se presentan para los meses completos (también se han considerado dentro de esta categoría algunos meses que presentaban huecos pequeños, de pocas horas, previo relleno de estos huecos; se indican en la tabla con asteriscos * junto al valor calculado) los valores medios de caudal, el rango de valores registrado, la cantidad total de lixiviados generados (aportaciones, calculadas a partir de los valores medios) y las precipitaciones registradas en la estación de Azkoitia-Iberdrola. En total se dispone de información referente a 34 meses. Tanto los valores medios como los rangos de caudal se han calculado a partir de los datos horarios de caudal, calculados a su vez como media de los valores medidos por el caudalímetro cada 10 minutos. Los datos de precipitación son, lógicamente, acumulados mensuales.

LIXIVIADOS GENERADOS EN EL VERTEDERO DE LAPATX

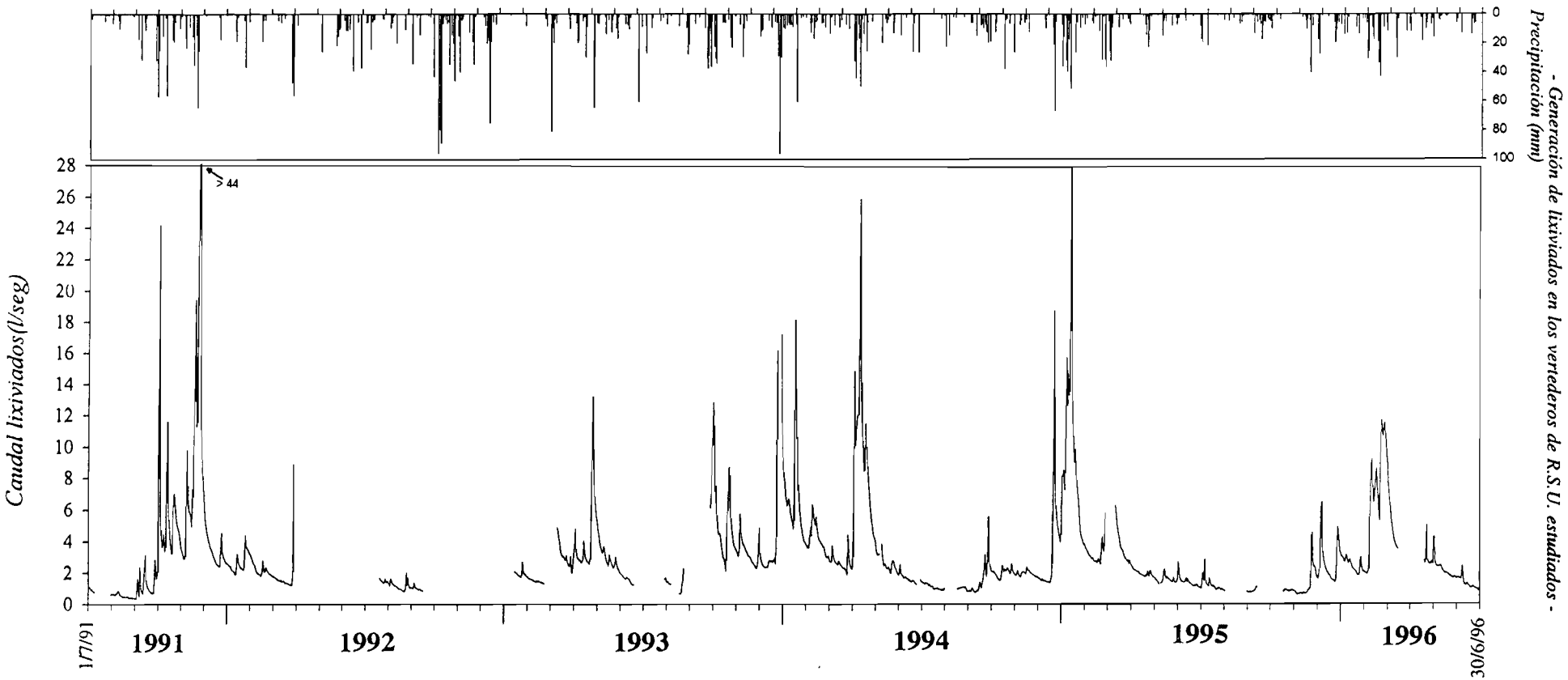


Figura 4.12. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Azkoitia-Iberdrola. Periodo: Julio-1991/Junio-1996. Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

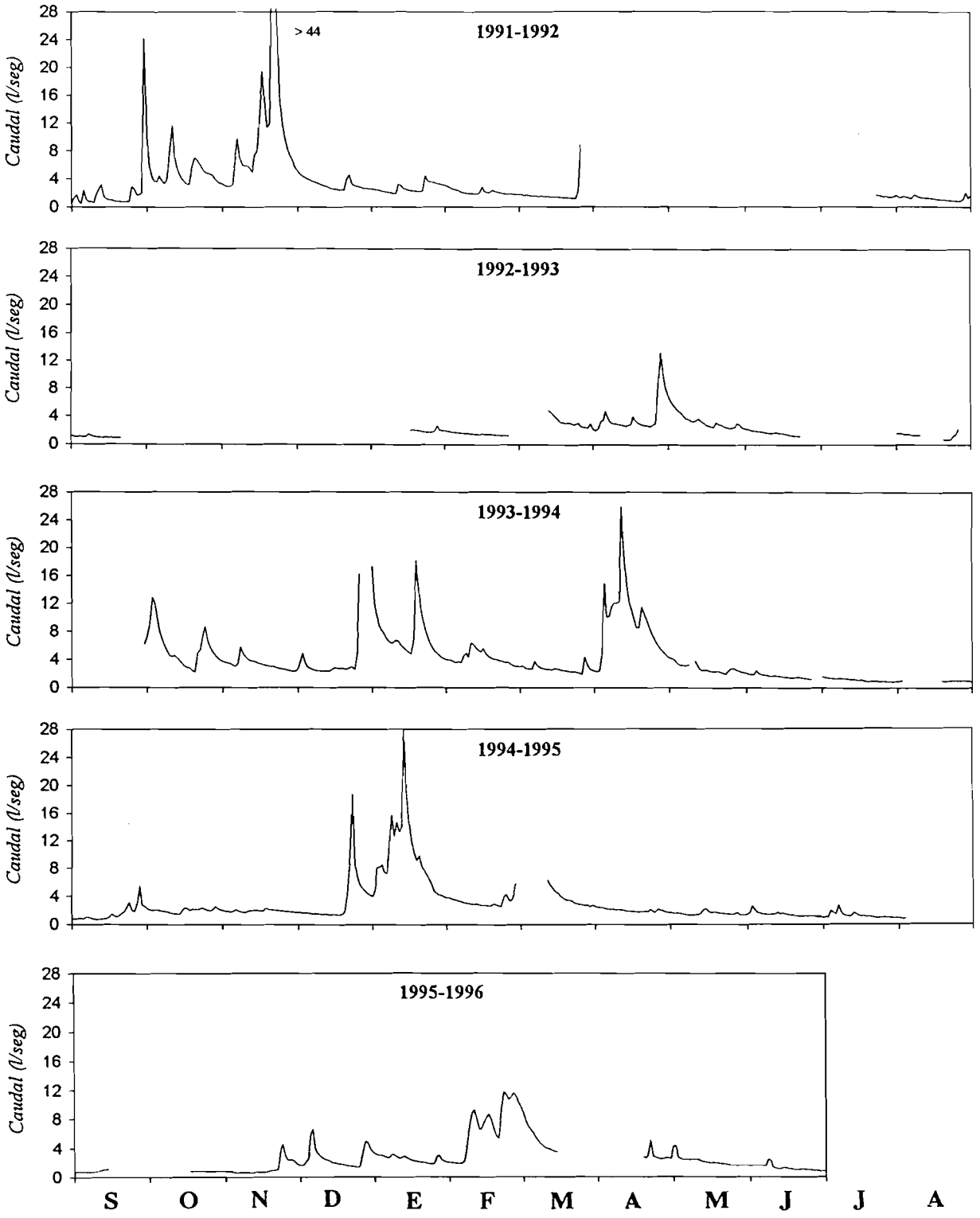


Figura 4.13. Comparación del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx en los distintos años hidrológicos. Datos diarios medios.

		1991	1992	1993	1994	1995	1996
ENERO	Qmedio (l/seg)		2,70		7,03	10,14	2,48
	Rango		1,84-6		3,87-23,68	3,5-38,55	1,77-4,32
	Aportaciones (m^3)		7.245		18.820	27.166	6.632
	Precipitación (mm)		82,2		170,4	243,2	76,2
FEBRERO	Qmedio (l/seg)		2,06		4,27		7,66
	Rango		1,49-4,64		2,65-8,56		1,84-20,34
	Aportaciones (m^3)		5.153		10.323		19.204
	Precipitación (mm)		30,3		91,0		277,6
MARZO	Qmedio (l/seg)				2,69		
	Rango				1,58-12,84		
	Aportaciones (m^3)				7.207		
	Precipitación (mm)				57,7		
ABRIL	Qmedio (l/seg)			4,22	9,67*	1,99	
	Rango			2,03-20,95	2,23-29,66	1,36-3,31	
	Aportaciones (m^3)			10.930	25.064	5.157	
	Precipitación (mm)			213,9	250,9	66,8	
MAYO	Qmedio (l/seg)			3,18	2,77*	1,60	2,12
	Rango			1,87-6,46	1,65-?	0,86-4,15	1,42-6,15
	Aportaciones (m^3)			8.517	7.425	4.292	5.666
	Precipitación (mm)			85,5	73,7	68	45,6
JUNIO	Qmedio (l/seg)				1,71*	1,34	1,26
	Rango				0,99-4,64	0,71-4,24	0,74-3,33
	Aportaciones (m^3)				4.436	3.482	3.263
	Precipitación (mm)				95,6	19	52,8
JULIO	Qmedio (l/seg)				1,16*	1,24	
	Rango				0,57-?	0,45-7,48	
	Aportaciones (m^3)				3.116	3.314	
	Precipitación (mm)				30,5	72,8	
AGOSTO	Qmedio (l/seg)	0,53	1,24				
	Rango	0,17-2,19	0,70-4,65				
	Aportaciones (m^3)	1.432	3.316				
	Precipitación (mm)	27,4	103,8				
SEPTIEMBRE	Qmedio (l/seg)	2,11			1,46*		
	Rango	0,26-34,25			0,55-6,51		
	Aportaciones (m^3)	5.473			3.792		
	Precipitación (mm)	213,2			134		
OCTUBRE	Qmedio (l/seg)	5,14		5,65	2,05		
	Rango	2,87-18,53		2,08-15,8	1,03-4,08		
	Aportaciones (m^3)	13.769		15.139	5.501		
	Precipitación (mm)	138,3		161,4	101,1		
NOVIEMBRE	Qmedio (l/seg)	10,97*		3,30	1,97	1,34	
	Rango	2,78->45		2,19-8,35	1,60-3,03	0,56-8,31	
	Aportaciones (m^3)	28.431		8.556	5.114	3.483	
	Precipitación (mm)	278,2		71,1	44,6	79	
DICIEMBRE	Qmedio (l/seg)	3,17			3,55	2,66	
	Rango	2,25-6,81			1,34-42,72	1,35-8,90	
	Aportaciones (m^3)	8.499			9.504	7.120	
	Precipitación (mm)	29,2			191,8	126,9	

Tabla 4.5. Resumen mensual de caudales medios, rangos de caudales, volúmenes de lixiviados y precipitaciones. Vertedero de Lapatx. (*) meses con pequeños huecos, de pocas horas, cuyos valores medios también han sido considerados.

De los caudales medios mensuales el menor es de 0,53 l/seg (Agosto-1991), siendo el mayor de 10,97 l/seg (Noviembre-1991). La media de los 34 valores mensuales medios toma el valor de 3,42 l/seg, valor ligeramente superior al citado previamente, 3,16 l/seg, calculado como media de los datos medios diarios de todo el periodo controlado (incluyendo los datos existentes en los meses no completos).En lo que respecta a las aportaciones totales de

lixiviados, el valor mínimo correspondiente es de 1.432 m^3, el medio de 8.986 m^3 y el máximo de 28.431 m^3. Como queda patente, a nivel de valores de caudales medios mensuales o de aportaciones, la variabilidad es muy elevada, siendo los valores mayores unas 20 veces superiores a los menores. Los rangos de variación dentro de cada mes son más elevados aún si cabe, especialmente en los meses lluviosos, en los que los valores máximos pueden ser hasta 30 veces superiores a los inferiores (Diciembre-1994) o incluso más (Septiembre-1991).

En esta tabla también se aprecia una relación bastante clara entre las aportaciones de lixiviados mensuales con las precipitaciones registradas en esos mismos meses. Así, si analizamos la evolución de las aportaciones registradas en cada mes a lo largo de los años sucesivos vemos que hay una relación directa entre ambos parámetros (a mayores precipitaciones, mayores aportaciones) salvo raras excepciones de escasa importancia (Mayo y Junio de 1996 y Noviembre de 1995).

Pp (mm)	Lix. (m^3)	MESES
19,0	3.482	Junio.1995
27,4	1.432	Agosto.1991
29,2	8.400	Diciembre.1991
30,3	5.153	Febrero.1992
30,5	3.116	Julio.1994
44,6	5.114	Noviembre.1994
45,6	5.666	Mayo.1996
52,8	3.263	Junio.1996
57,7	7.207	Marzo.1994
66,8	5.157	Abril.1995
68,0	4.292	Mayo.1995
71,1	8.556	Noviembre.1993
72,8	3.314	Julio.1995
73,7	7.425	Mayo.1994
76,2	6.632	Enero.1996
79,0	3.483	Noviembre.1995
82,2	7.245	Enero.1992
85,8	8.517	Mayo.1993
91,0	10.322	Febrero.1994
95,6	4.436	Junio.1994
101,1	5.501	Octubre.1994
103,8	3.316	Agosto.1992
126,9	7.121	Diciembre.1995
134,0	3.792	Septiembre.1994
138,3	13.769	Octubre.1991
161,4	15.139	Octubre.1993
170,4	18.820	Enero.1994
191,8	9.504	Diciembre.1994
213,2	5.473	Septiembre.1991
213,9	10.930	Abril.1993
243,2	27.166	Enero.1995
250,9	25.064	Abril.1994
277,6	19.204	Febrero.1996
278,2	28.431	Noviembre.1991

Tabla 4.6. Relación precipitación-aportación de lixiviados a escala mensual. Vertedero de Lapatx.

Sin embargo, esta relación directa entre precipitaciones-aportaciones a nivel mensual se hace bastante menos evidente si consideramos conjuntamente toda la información. Así, en la Tabla 4.6, en la que se presentan todos los meses completos ordenados según las precipitaciones ocurridas en los mismos, vemos en la columna de las aportaciones

correspondientes a esos meses que, aunque se tiende en líneas generales hacia valores cada vez mayores, aparecen bastantes casos en los que no se cumple la condición.

Esto es debido, sin duda, a que la aportación de lixiviados registrada a lo largo de un mes no depende únicamente de la precipitación ocurrida en ese mismo mes, sino que también está condicionada por las precipitaciones registradas en periodos anteriores, parte de las cuales quedarán retenidas en el interior del vertedero. Un ejemplo de este fenómeno puede apreciarse en la Tabla 4.5 (mes de Diciembre de 1991 y de 1994). En Diciembre de 1991, a pesar de que las precipitaciones son tan sólo de 29,2 mm, la aportación total de lixiviados es de orden similar a la de Diciembre de 1994 (8.499 m^3 frente a 9.504 m^3), cuando la precipitación en este segundo caso es de 191,8 mm (unas 6,5 veces superior). La explicación debe buscarse en las precipitaciones ocurridas en el mes anterior. Así, mientras que en Noviembre de 1991 las precipitaciones alcanzan los 278,2 mm, en Noviembre de 1994 únicamente alcanzan los 44,6 mm (unas 6,2 veces menos).

De todo esto se deduce que a la hora de realizar balances hídricos en este vertedero, en ocasiones no será correcto utilizar como unidad el "mes" sino que será más conveniente utilizar como unidad un periodo de tiempo superior.

Evolución general de la temperatura y conductividad. Valores medios

En la Figura 4.14 se presentan la totalidad de los datos válidos registrados por la estación HYDRODATA-1256 (temperatura, conductividad y caudal). Los datos representados son valores medios diarios calculados a partir de los valores registrados cada 10 minutos por la estación referida. Las precipitaciones, acumuladas diarias, corresponden a la estación de Azkoitia-Iberdrola. En primer lugar, se representan en la misma gráfica las evoluciones de los 3 parámetros de interés, para pasar a representar en las 2 gráficas inferiores la evolución en detalle de la temperatura de los lixiviados y la de la conductividad de los mismos, tanto sin corregir como corregida.

En la gráfica que incluye los 3 parámetros se observa cómo al mismo tiempo que se producen las distintas crecidas, se registran descensos considerables tanto de las conductividades como de las temperaturas. A esta escala, diaria, los descensos de temperatura pueden ser superiores a 2°C y los de conductividad superiores a 1 mS/cm. Ejemplos de este fenómeno pueden observarse asociados a las crecidas registradas en los días siguientes:

- 25-12-93: Para un gran incremento de caudal (por problemas de suministro eléctrico el caudalímetro no pudo registrar la totalidad de la crecida aunque casi con toda seguridad se sobrepasaron los 44 l/seg) la temperatura pasa de 15,7 a 13,7°C, y la conductividad de 2 a 1,1 mS/cm.

- 17-1-94: Para un incremento de 13 l/seg, la temperatura desciende de 16,05 a 13,2°C, y la conductividad de 2,10 a 1,17 mS/cm.

- 3-4-94: Para un incremento de 12 l/seg, la temperatura desciende de 15,5 a 13,04°C, y la conductividad de 1,82 a 0,93 mS/cm.

- 22-12-94: Para un incremento de 17 l/seg, la temperatura desciende de 16,5 a 14,2°C, y la conductividad de 2,2 a 0,82 mS/cm

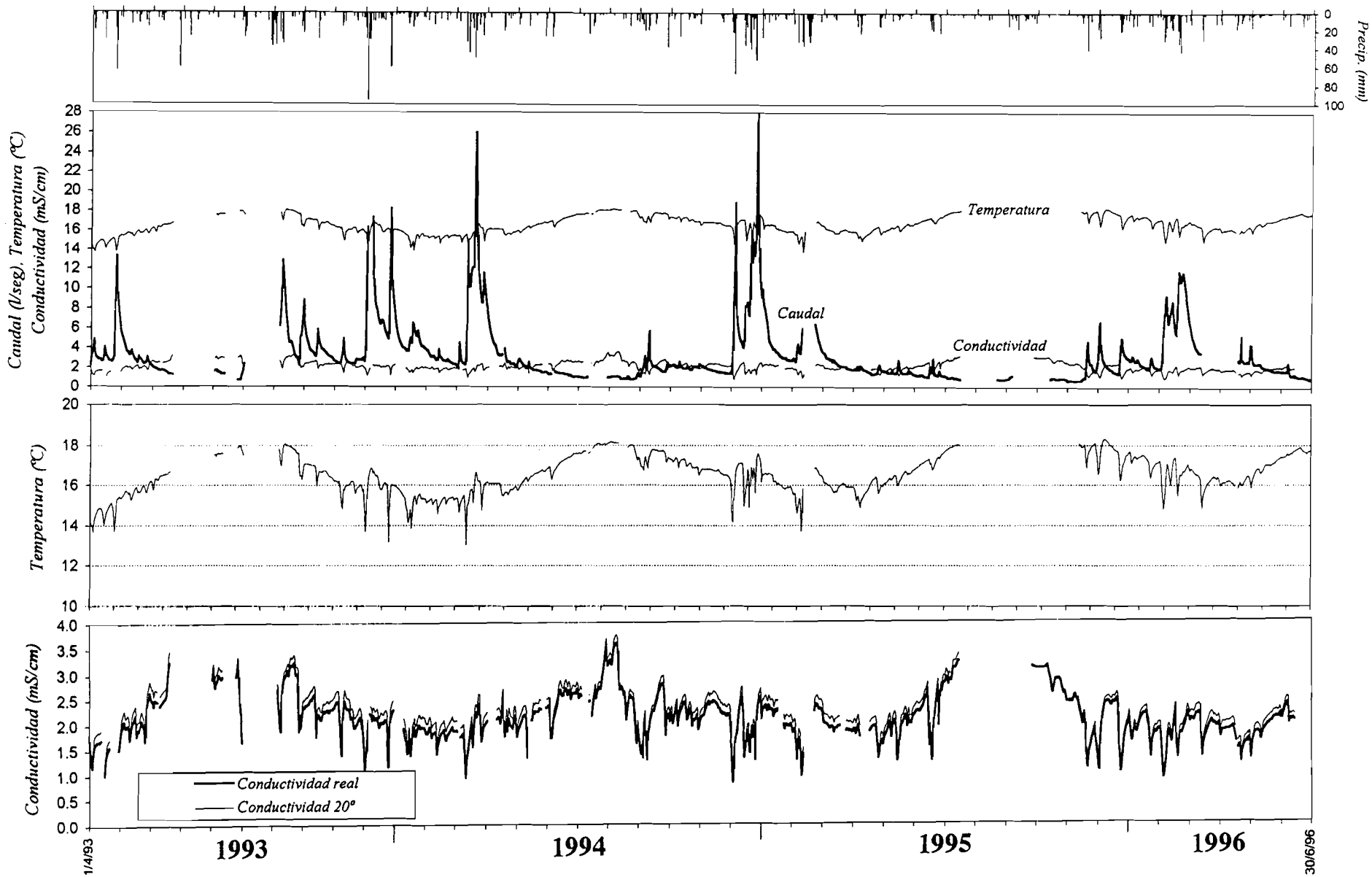


Figura 4.14. Evolución del caudal, temperatura y conductividad (real y corregida a 20°C) de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Azkoitia-Iberdrola. Periodo: Abril-1993/Junio-1996. Datos medios diarios de caudal, temperatura y conductividad, y acumulados diarios de precipitación.

Estos descensos de temperatura y conductividad ponen en evidencia los procesos de mezcla que tienen lugar en el interior del vertedero entre importantes cantidades de aguas de lluvia, frías y de baja conductividad y que se infiltran rápidamente, con los lixiviados ya existentes en el interior del vertedero.

La temperatura media del periodo controlado (calculada como media de los valores medios diarios existentes) es de 16,76°C. El valor mínimo es de 13,04°C, siendo el máximo de 19,3°C. El rango de variación es por tanto de 6,26°C. Respecto a la conductividad, el valor medio es de 2,11 mS/cm, el mínimo de 0,83 mS/cm y el máximo de 3,59 mS/cm. Su rango de variación a lo largo de este periodo es por consiguiente de 2,76 mS/cm.

En las 2 gráficas inferiores se aprecia, a escala anual, además de una clara ciclicidad de la temperatura de los lixiviados, una cierta ciclicidad en la evolución de la conductividad. Esta última ciclicidad es debida en parte al hecho de que la conductividad de una disolución varía directamente con la temperatura (la inmensa mayoría de las disoluciones acuosas tienen coeficientes de temperatura comprendidos entre 1,5-3,5%/°C; GEONICA, 1993). Pero, por otra parte, también hay que relacionarla con la ciclicidad de las lluvias que se da en este área. Así, en los periodos invernales, las precipitaciones son claramente superiores a las que se registran en el resto del año, lo que se traduce en la infiltración de importantes cantidades de aguas frías y poco mineralizadas que darán lugar, tras mezclarse con los lixiviados almacenados en el interior del vertederos, a mayores caudales en la salida del vertedero que los registrados previamente, pero de menores temperaturas y conductividades.

En la gráfica de temperatura además de la ciclicidad anual ya comentada también se aprecia una tendencia hacia valores crecientes con el tiempo, también a escala anual. Esta tendencia queda también de manifiesto en la Tabla 4.7 en la que se presentan los valores medios mensuales tanto de la temperatura como de la conductividad y caudal así como las variaciones en los valores de cada mes entre años sucesivos (estas variaciones se indican entre paréntesis). En todos los casos, las temperaturas medias mensuales de un mismo mes en años sucesivos sufren aumentos más o menos considerables.

Por último, en la gráfica inferior de la Figura 4.14 se presenta en detalle la evolución de la conductividad real y corregida a 20°C. Los valores corregidos a 20°C se han calculado a partir de la ecuación siguiente definida para el compuesto ClK 0,1 M:

$$\mu_{corr} = \mu_{real} \cdot (1+0{,}023 \cdot (20-T))$$

donde T es la temperatura registrada (°C)

Como se aprecia, el hecho de corregir los valores de conductividad no aporta ninguna información adicional. Al ser los valores de temperatura siempre inferiores a 20°C, los valores corregidos siempre son ligeramente superiores. Por otra parte, no se tiene la mínima certeza de que la corrección efectuada sea correcta ya que el comportamiento de estos lixiviados en concreto puede ser muy diferente a la del ClK 0,1 M. Por todo ello, en todas las gráficas efectuadas en el apartado siguiente y en discusiones posteriores se utilizarán exclusivamente los valores de conductividad reales, es decir, los medidos por la estación de control y que están referidos a la temperatura de los lixiviados en el instante de medida.

	Valores medios	1993	1994	1995	1996
ENERO	Temperatura (°C)		15,89	16,46 (+0,57)	17,26 (+0,8)
	Conductividad (mS/cm)		2,05	2,04 (-0,01)	1,9 (-0,14)
	Caudal (l/seg)		7,03	10,14 (+3,11)	2,48 (-7,66)
FEBRERO	Temperatura (°C)		15,11	15,61 (+0,5)	16,52 (+0,91)
	Conductividad (mS/cm)		1,81	1,78 (-0,03)	1,69 (-0,09)
	Caudal (l/seg)		4,27		7,66
MARZO	Temperatura (°C)		15,21		16,27
	Conductividad (mS/cm)				1,95
	Caudal (l/seg)		2,69		
ABRIL	Temperatura (°C)	14,65	15,74 (+1,09)	15,71 (+0,03)	16,13 (+0,42)
	Conductividad (mS/cm)			1,87	1,7 (-0,17)
	Caudal (l/seg)	4,22	9,67* (-5,45)	1,99 (-7,68)	
MAYO	Temperatura (°C)	15,70	15,88 (+0,18)	16,12 (+0,24)	16,87 (+0,75)
	Conductividad (mS/cm)	2,02	2,05 (+0,03)	1,79 (-0,26)	1,89 (+0,10)
	Caudal (l/seg)	3,18	2,77* (-0,41)	1,60 (-1,17)	2,12 (+0,52)
JUNIO	Temperatura (°C)		16,61	16,76 (+0,15)	17,65 (+0,89)
	Conductividad (mS/cm)		2,17	2,13 (-0,04)	
	Caudal (l/seg)		1,71*	1,34 (-0,34)	1,26 (-0,08)
JULIO	Temperatura (°C)		17,43	17,59 (+0,16)	
	Conductividad (mS/cm)		2,59	2,59 (=)	
	Caudal (l/seg)		1,16*	1,24 (+0,08)	
AGOSTO	Temperatura (°C)		18,03		
	Conductividad (mS/cm)				
	Caudal (l/seg)				
SEPTIEMBRE	Temperatura (°C)		17,47		
	Conductividad (mS/cm)		2,13		
	Caudal (l/seg)		1,46*		
OCTUBRE	Temperatura (°C)	17,42	17,48 (+0,06)		
	Conductividad (mS/cm)	2,65	2,3 (-0,35)		
	Caudal (l/seg)	5,65	2,05 (-3,6)		
NOVIEMBRE	Temperatura (°C)	16,52	16,91 (+0,39)		
	Conductividad (mS/cm)	2,31	2,21 (-0,10)	2,12 (-0,09)	
	Caudal (l/seg)	3,30	1,97 (-1,33)	1,34 (-0,63)	
DICIEMBRE	Temperatura (°C)	15,84	16,47 (+0,63)	17,63 (+1,16)	
	Conductividad (mS/cm)	2,02	2,1 (+0,08)	1,96 (-0,14)	
	Caudal (l/seg)		3,55	2,66 (-0,89)	

Tabla 4.7. Valores medios mensuales de temperatura, conductividad y caudales. Lixiviados del vertedero de Lapatx. Entre paréntesis se indican las variaciones con respecto al año anterior. (*) meses con pequeños huecos, de pocas horas, cuyos valores medios también han sido considerados.

En esta misma gráfica se observa además de la ciclicidad anual una cierta tendencia decreciente con los años, tendencia que también queda de manifiesto en la Tabla 4.7, donde se aprecia cómo de forma generalizada los valores medios mensuales de conductividad de un mismo mes en años sucesivos sufren ligeros descensos. También en esta tabla se pone de manifiesto, al menos a escala mensual, la ausencia de una relación exacta entre los valores medios que adquieren tanto las temperaturas como las conductividades con los valores de los caudales. Así, los incrementos de las temperaturas y los descensos de las conductividades ya referidos se mantienen independientemente de que los caudales medios en los mismos meses de años sucesivos sean superiores o inferiores.

La Tabla 4.8, por su parte, recoge los valores medios mensuales de temperatura y de conductividad real para los meses completos (también se han considerado algunos meses que presentaban huecos pequeños, de pocas horas, previo relleno de los mismos). Se dispone de información referente a 26 meses de conductividades y de 30 meses respecto a temperaturas.

	CONDUCTIVIDAD				TEMPERATURA			
MESES	Media	Máx.	Mín.	Rango	Media	Máx.	Mín.	Rango
Abril.1993					14,65	15,52	12,1	3,42
Mayo.1993	2,02	2,74	1,11	1,63	15,70	16,3	15	1,3
Octubre.1993	2,65	3,28	1,19	2,09	17,42	18,1	15,07	3,03
Noviembre.1993	2,31	2,63	1,28	1,35	16,52	17,07	15,03	2,04
Diciembre.1993	2,02	2,54	0,88	1,66	15,84	17	12,67	4,33
Enero.1994	2,05	2,31	0,82	1,49	15,89	16,8	11,47	5,33
Febrero.1994	1,81	2,02	1,09	0,93	15,11	15,6	12,75	2,85
Marzo.1994					15,21	15,5	14,3	1,2
Abril.1994					15,74	16,7	11,88	4,82
Mayo.1994	2,05	2,61	1,41	1,2	15,88	16,4	15,08	1,32
Junio.1994	2,17	2,45	1,31	1,14	16,61	17	16,1	0,9
Julio.1994	2,59	2,79	2,21	0,58	17,43	17,98	16,9	1,08
Agosto.1994					18,03	18,2	17,5	0,7
Septiembre.1994	2,13	2,86	0,64	2,22	17,47	18,05	16,23	1,82
Octubre.1994	2,30	2,87	1,5	1,37	17,48	17,88	16,42	1,46
Noviembre.1994	2,21	2,48	1,57	0,91	16,91	17,35	16	1,35
Diciembre.1994	2,10	2,58	0,46	2,12	16,47	17,12	12,73	4,39
Enero.1995	2,04	2,55	0,82	1,73	16,46	17,6	12,4	5,2
Febrero.1995	1,78	2,37	0,74	1,63	15,61	16,22	12,22	4
Abril.1995	1,87	2,03	1,51	0,52	15,71	16,1	14,6	1,5
Mayo.1995	1,79	2,12	0,8	1,32	16,12	16,63	15,3	1,33
Junio.1995	2,13	2,69	1,12	1,57	16,76	17,78	15,83	1,95
Julio.1995	2,59	3,27	0,82	2,45	17,59	18,13	16,6	1,53
Noviembre.1995	2,12	2,66	1	1,66				
Diciembre.1995	1,96	2,48	0,81	1,67	17,63	18,3	15,85	2,45
Enero.1996	1,90	2,23	1,03	1,2	17,26	17,7	15,52	2,18
Febrero.1996	1,69	2,25	0,63	1,62	16,52	17,4	13,48	3,92
Marzo.1996	1,95	2,24	1,12	1,12	16,27	17,1	14,12	2,98
Abril.1996	1,70	1,98	0,87	1,11	16,13	16,5	15,7	0,8
Mayo.1996	1,89	2,27	1,04	1,23	16,87	17,63	15,55	2,08
Junio.1996					17,65	18	17,3	0,7

Tabla 4.8. Valores medios y rangos de temperatura y conductividad real. Lixiviados del vertedero de Lapatx.

Tanto los valores medios como los mínimos y máximos de temperatura y conductividad se han calculado a partir de los datos horarios, calculados a su vez como media de los valores medidos por la estación HYDRODATA-1256 cada 10 minutos.

De las conductividades medias mensuales el menor valor es de 1,69 mS/cm (Febrero-1996) y el mayor de 2,65 mS/cm (Octubre-1993). La media de los 26 valores mensuales medios toma el valor de 2,07 mS/cm, valor muy similar al citado previamente, 2,11 mS/cm, calculado como media de los datos medios diarios de todo el periodo controlado (incluyendo los datos existentes en los meses no completos). El máximo y mínimo absoluto alcanzan la cifra de 3,28 mS/cm y de 0,46 mS/cm respectivamente.

Respecto a las temperaturas, de las medias mensuales el menor valor es de 14,65°C (Abril-1993), siendo el mayor de 18,03 (Agosto-1994). La media de los 30 valores mensuales medios toma el valor de 16,5°C, valor ligeramente inferior al citado previamente, 16,76°C, calculado como media de los datos medios diarios de todo el periodo controlado (incluyendo los datos existentes en los meses no completos). El máximo y mínimo absoluto alcanzan la cifra de 18,3°C y de 11,47°C respectivamente.

En cuanto a los rangos de variación dentro de cada mes cabe decir que también son

importantes, pudiendo alcanzar los valores de 2,45 mS/cm (conductividad, Julio-1995) y de 5,33°C (temperatura, Enero-1994).

En la Figura 4.15 se muestra la diferencias registradas entre las temperaturas medias diarias de los lixiviados y las ambientales. Las primeras están calculadas a partir de los datos registrados cada 10 minutos por la estación HYDRODATA-1256. Las ambientales se han calculado a partir de los datos registrados cada 12 minutos por la estación METOSDAT instalada en el mismo vertedero.

Puede apreciarse con mucha claridad la ciclicidad de las temperaturas ambientales (mínimos valores en los meses invernales y máximos valores en los meses del verano). El rango de estas temperaturas está comprendido entre 0 y 30° C. Las variaciones diarias pueden ser considerables pudiendo variar hasta unos 10°C de un día a otro. Por contra, las temperaturas de los lixiviados son mucho más homogéneas. Sigue apreciándose una ciclicidad estacional pero de mucha menor amplitud, entre 13 y 18°C. Esta diferencia de amplitud está relacionada con la diferencia existente entre los calores específicos del aire (1kJ/kg) y de los líquidos (4,18 kJ/kg, en el caso del agua), que hace que el aire pueda calentarse más rápidamente por el día, así como enfriarse también más rápidamente por la noche, que los lixiviados. Por otra parte, los procesos de degradación que ocurren en el interior del vertedero, de carácter exotérmico, controlan la temperatura de los lixiviados, suavizando las fluctuaciones de temperatura en los lixiviados de flujo lento. Por último, también debe tenerse en cuenta que la ciclicidad de la temperatura de los lixiviados también está condicionada por la ciclicidad de las lluvias, tal y como ya se ha comentado en este mismo apartado.

4.2.5.4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE HIDROGRAMAS Y DE LAS EVOLUCIONES DE TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD.

En las gráficas de las Figuras 4.16 a 4.27 se muestran la totalidad de los datos registrados por los equipos de control tras ser convenientemente depurados.

Para la realización de estas gráficas se han utilizado valores horarios de caudal, temperatura y conductividad obtenidos como valores medios de los registrados cada 10 minutos por los equipos de control. Como datos de precipitación se han utilizado en algunas Figuras (4.16, 4.17, 4,18, 4.25 inferior, 4.26 y 4.27) los valores acumulados diarios registrados en la estación de Azkoitia-Iberdrola al no existir datos de la estación METOSDAT (por no estar aún instalada en el vertedero o por estar averiada o en periodos de revisión), y en el resto, valores acumulados horarios registrados por la referida estación METOSDAT.

El hecho de utilizar en parte de las figuras datos procedentes de una estación situada a unos 3 km de distancia del vertedero (estación de Azkoitia-Iberdrola) introduce una cierta incertidumbre en las observaciones a realizar respecto a las relaciones precipitaciones-caudales ya que en áreas como en la que se encuentra el vertedero, de notable orografía, las precipitaciones pueden variar en eventos concretos de forma relativamente importante. En un apartado posterior (4.6.2.1) se discute con más amplitud este fenómeno. Por este motivo se hace mayor hincapié en los periodos que cuentan con datos de precipitación procedente del mismo vertedero, sin que ello quiera decir que no se valore en su justa medida la información de la estación Azkoitia-Iberdrola, utilizada cuando no se dispone de datos de la estación situada en el vertedero (por no estar instalada o por estar en periodo de revisión).

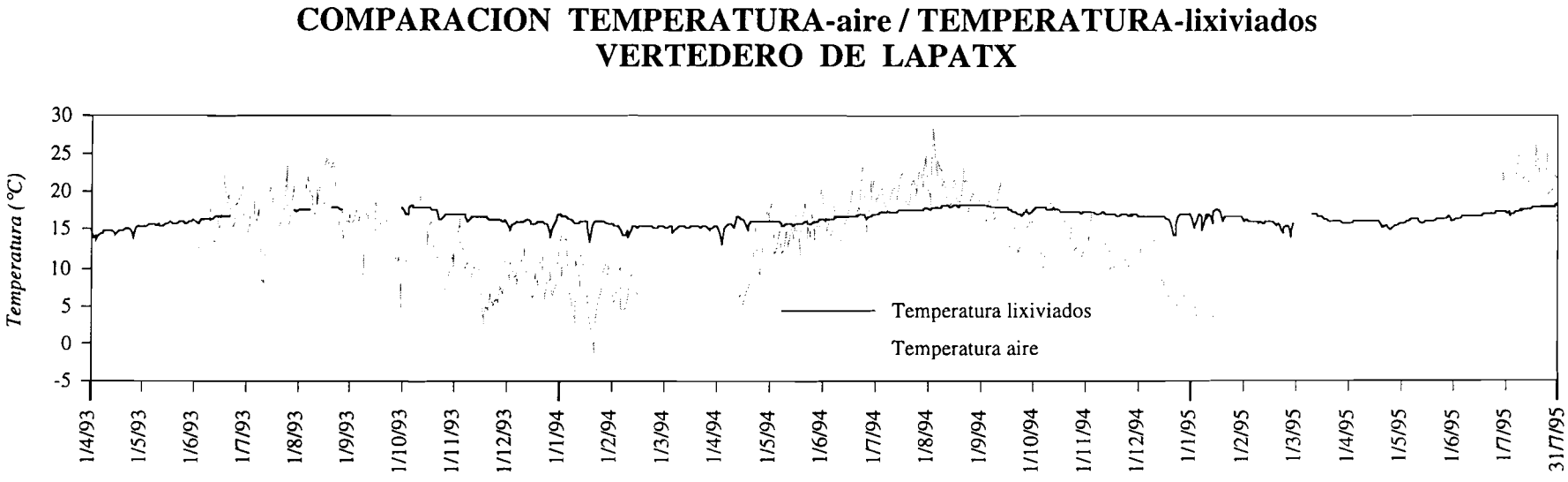


Figura 4.15. Comparación entre las temperaturas de los lixiviados del vertedero de Lapatx y las ambientales registradas en el mismo vertedero. Periodo: Abril-1993/Julio 1995. Datos medios diarios.

En las 3 primeras Figuras se muestran los datos registrados durante la primera fase de control, entre los meses de Julio de 1991 y Marzo de 1993. Durante este periodo únicamente se dispone de datos de caudal. En las siguientes Figuras, 4.19 a 4.27, se representan también, cuando existen, las evoluciones de la temperatura y conductividad de los lixiviados. En la discusión que se realiza a continuación las referencias se harán a los meses que presentan evoluciones características y no a las Figuras correspondientes. Los meses representados en cada Figura son:

Figura 4.16. Agosto.Septiembre-1991 (arriba) y Octubre.Noviembre-1991 (abajo).
Figura 4.17. Diciembre.1991-Enero.1992 (arriba) y Febrero.Marzo-1992 (abajo).
Figura 4.18. Julio.Agosto.Septiembre-1992 (arriba) y Enero.Febrero.Marzo-1993 (abajo).
Figura 4.19. Meses de Abril.Mayo-1993 (arriba) y Junio.Julio.Agosto-1993 (abajo).
Figura 4.20. Meses de Octubre.Noviembre-1993 (arriba) y Diciembre.1993-Enero.1994 (abajo).
Figura 4.21. Meses de Febrero.Marzo-1994 (arriba) y Abril.Mayo-1994 (abajo).
Figura 4.22. Meses de Junio.Julio-1994 (arriba) y Agosto.Septiembre-1994 (abajo).
Figura 4.23. Meses de Octubre.Noviembre-1994 (arriba) y Diciembre.1994-Enero.1995 (abajo).
Figura 4.24. Meses de Febrero.Marzo-1995 (arriba) y Abril.Mayo-1995 (abajo).
Figura 4.25. Meses de Junio.Julio-1995 (arriba) y Septiembre.Octubre-1995 (abajo).
Figura 4.26. Meses de Noviembre.Diciembre-1995 (arriba) y Enero.Febrero-1996 (abajo).
Figura 4.27. Meses de Marzo.Abril-1996 (arriba) y Mayo.Junio-1996 (abajo).

Relaciones precipitación-caudal

A la vista de todas estas figuras pueden hacerse diversas observaciones:

- En periodos de aguas bajas (periodos de longitud importante con caudales inferiores a unos 2-1,5 l/seg en su gran mayoría), salvo raras excepciones, sólamente precipitaciones con una cierta importancia (mayores de unos 8-10 mm) llegan a ejercer influencia apreciable sobre el caudal final en el vertedero.

Estos periodos de aguas bajas se concentran normalmente en los meses comprendidos entre Mayo y Septiembre (Agosto.Septiembre-1991; Julio.Agosto.Septiembre-1992; Junio.Julio.Agosto-1993; Junio.Julio-1994 y Agosto.Septiembre-1994; Junio.Julio-1995; Mayo.Junio-1996) aunque, en ocasiones, también pueden producirse fuera de estas fechas. Ejemplos de esto último se observan en gran parte de Marzo-1992, Febrero-1993, Octubre.Noviembre y parte de Diciembre-1994; y en parte de Noviembre-1995.

Durante estos periodos, la mayoría de ellos calurosos, los residuos y materiales de cubrición depositados en el vertedero se encuentran por debajo de su capacidad de campo, poseyendo cierta capacidad para absorber el agua infiltrada. Esta capacidad de absorción, junto con el hecho de que la evapotranspiración puede ser considerable, se considera la causa responsable del filtrado de las precipitaciones de escasa importancia.

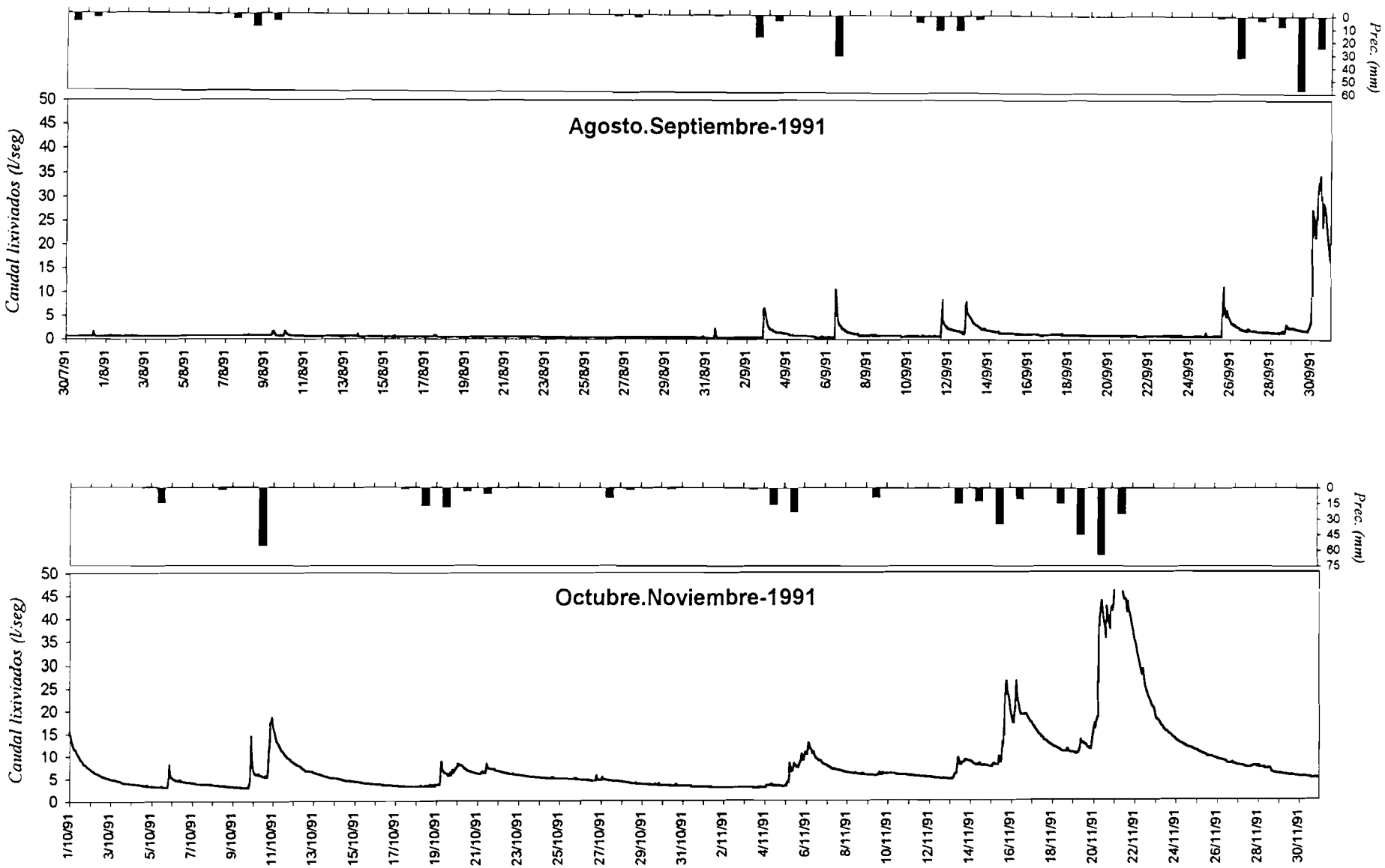


Figura 4.16. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Agosto.Septiembre-1991 (arriba) y Octubre.Noviembre-1991 (abajo). Datos horarios medios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

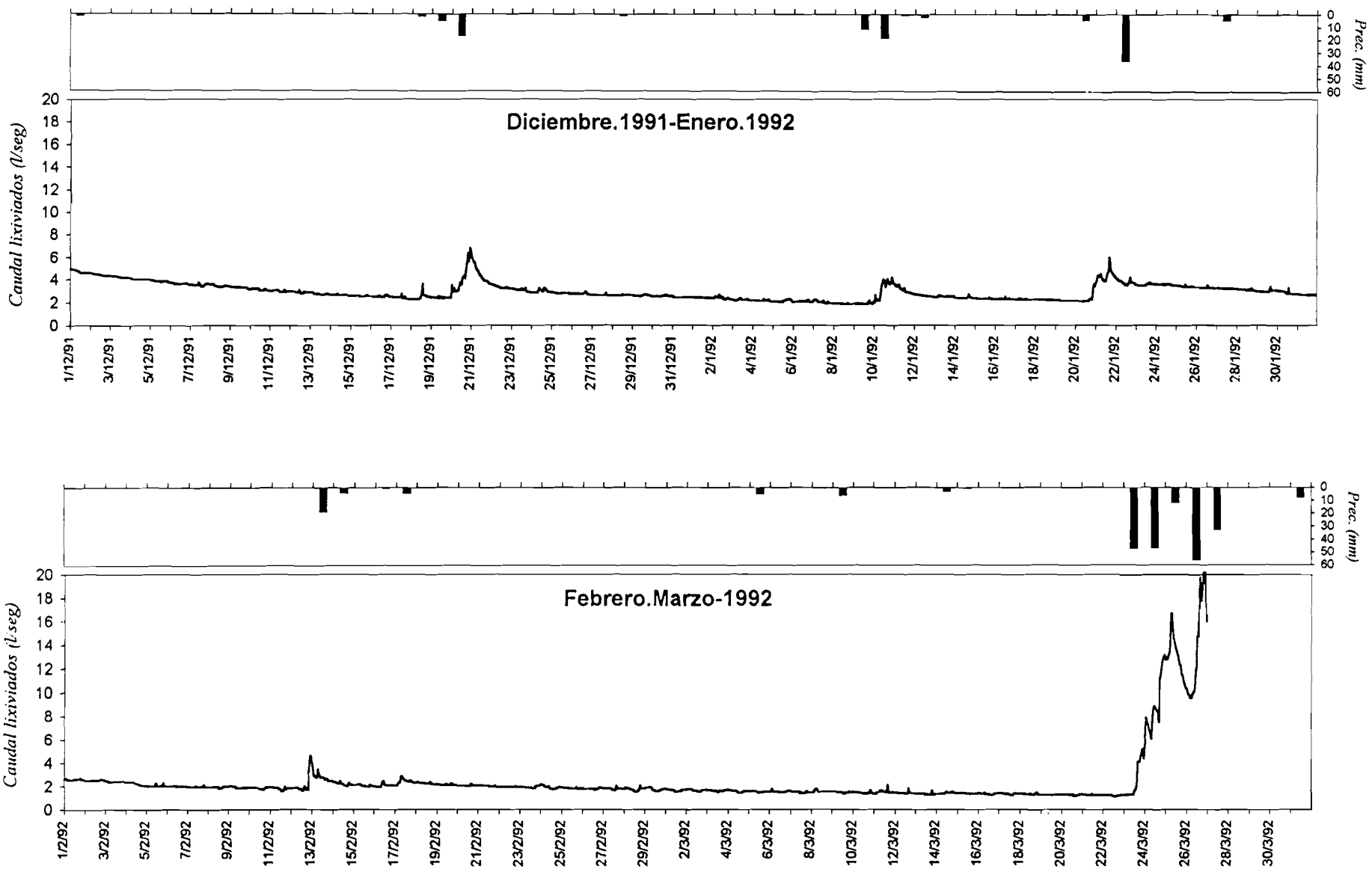


Figura 4.17. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Diciembre.1991-Enero.1992 (arriba) y Febrero.Marzo-1992 (abajo). Datos horarios medios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

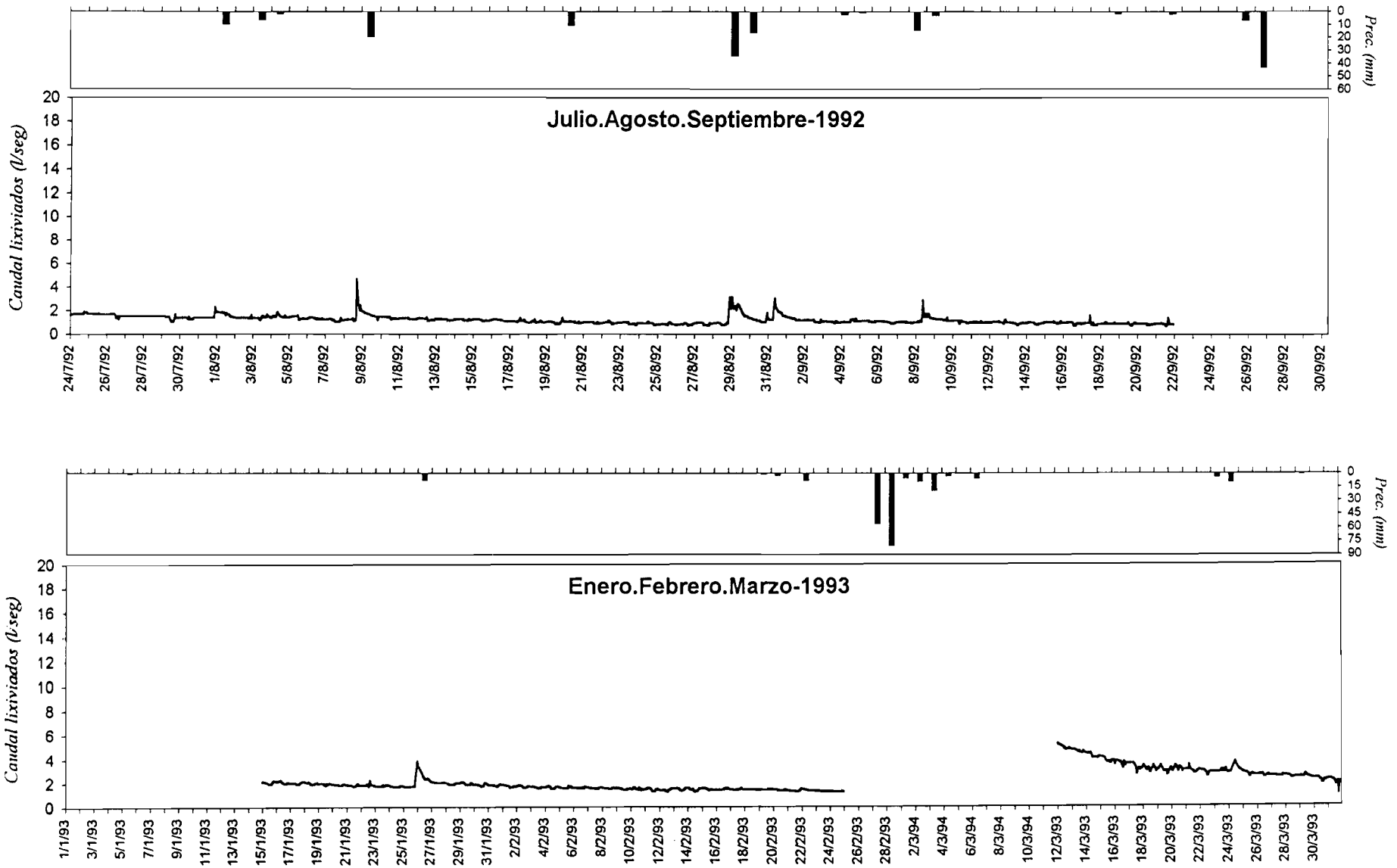


Figura 4.18. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Julio.Agosto.Septiembre-1992 (arriba) y Enero.Febrero.Marzo-1993 (abajo). Datos horarios medios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

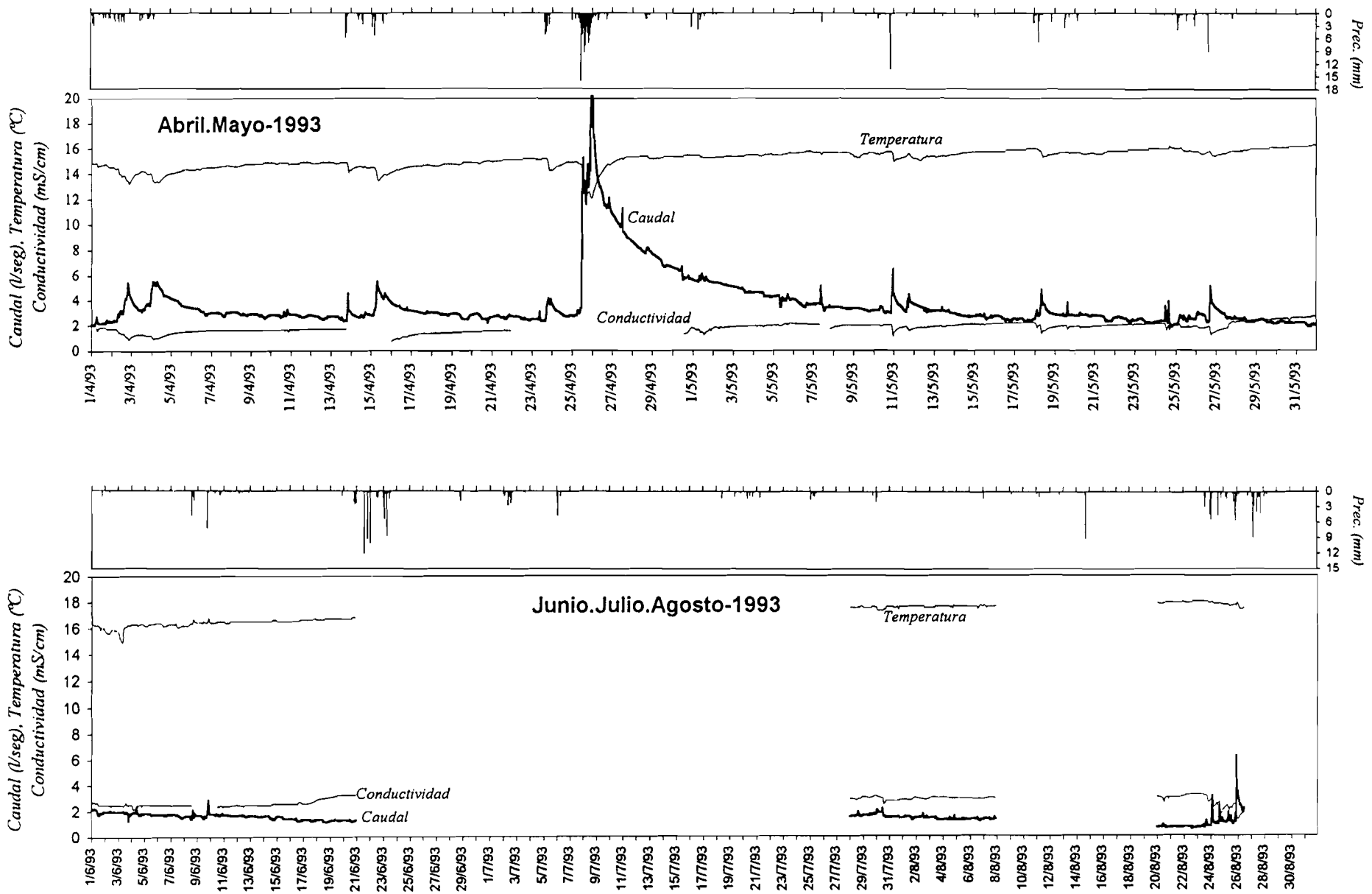


Figura 4.19. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Abril.Mayo-1993 (arriba) y Junio.Julio.Agosto-1993 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.

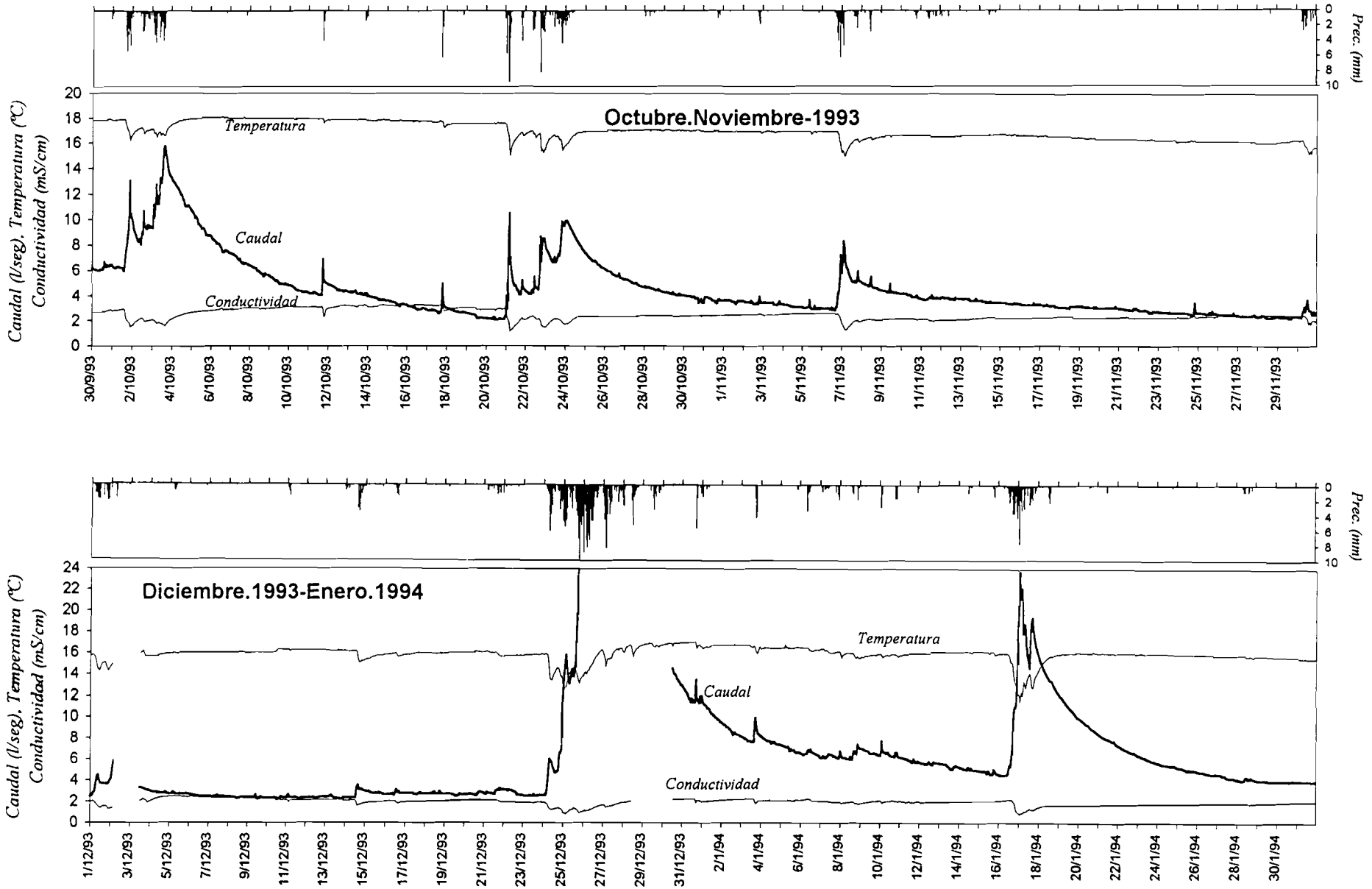


Figura 4.20. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Octubre.Noviembre-1993 (arriba) y Diciembre.1993-Enero.1994 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.

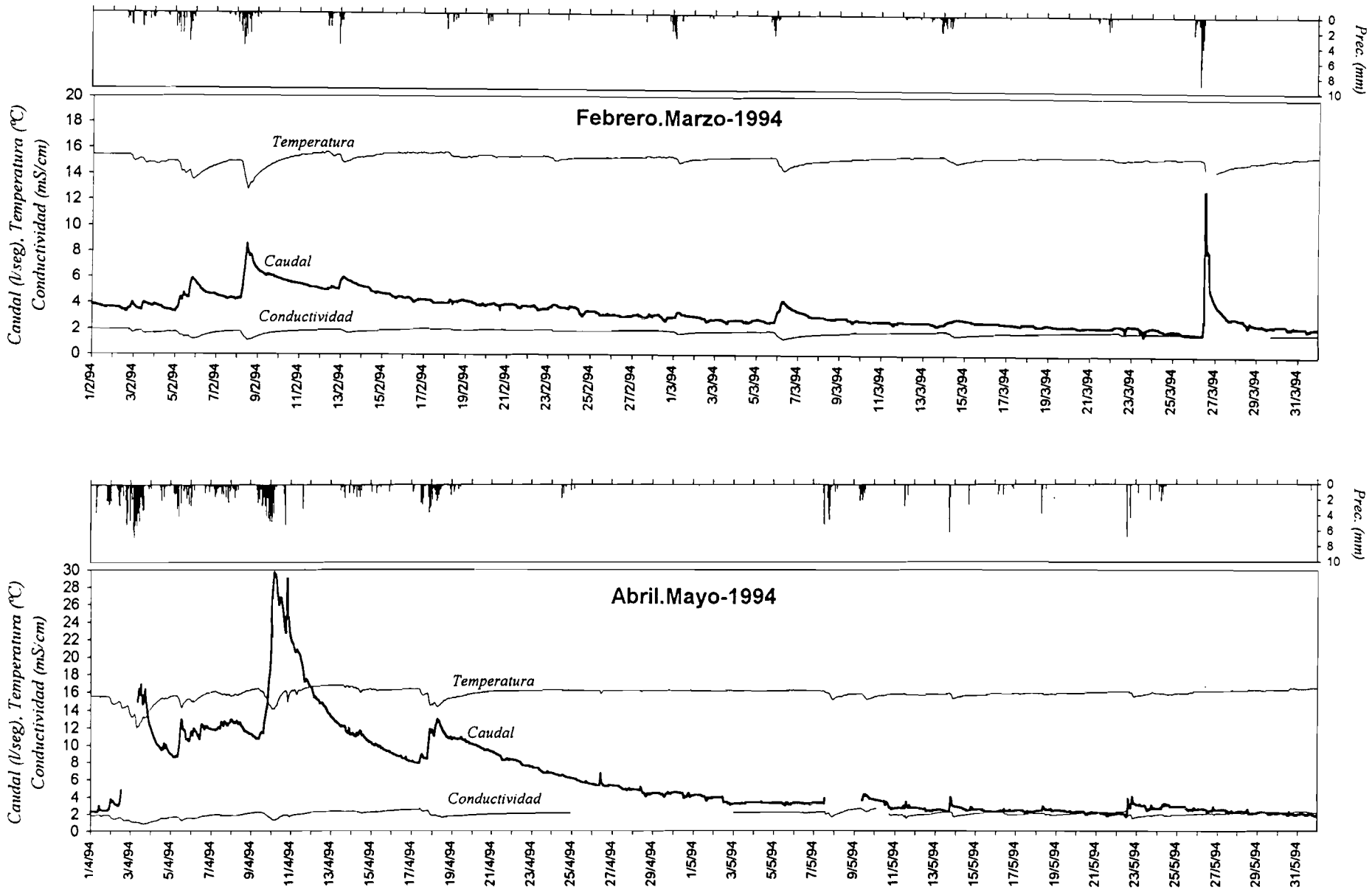


Figura 4.21. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Febrero.Marzo-1994 (arriba) y Abril.Mayo-1994 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.

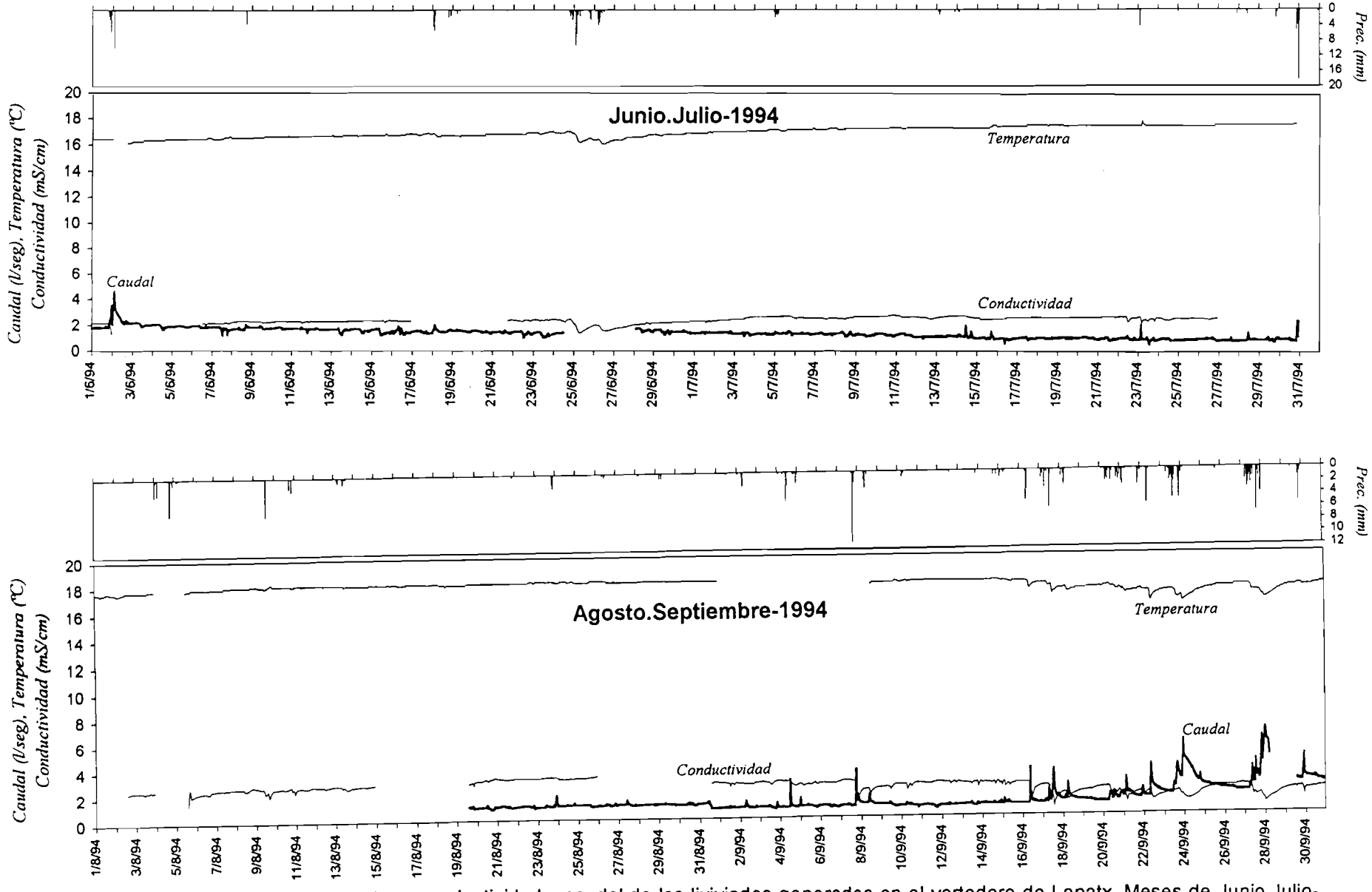


Figura 4.22. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Junio.Julio-1994 (arriba) y Agosto.Septiembre-1994 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.

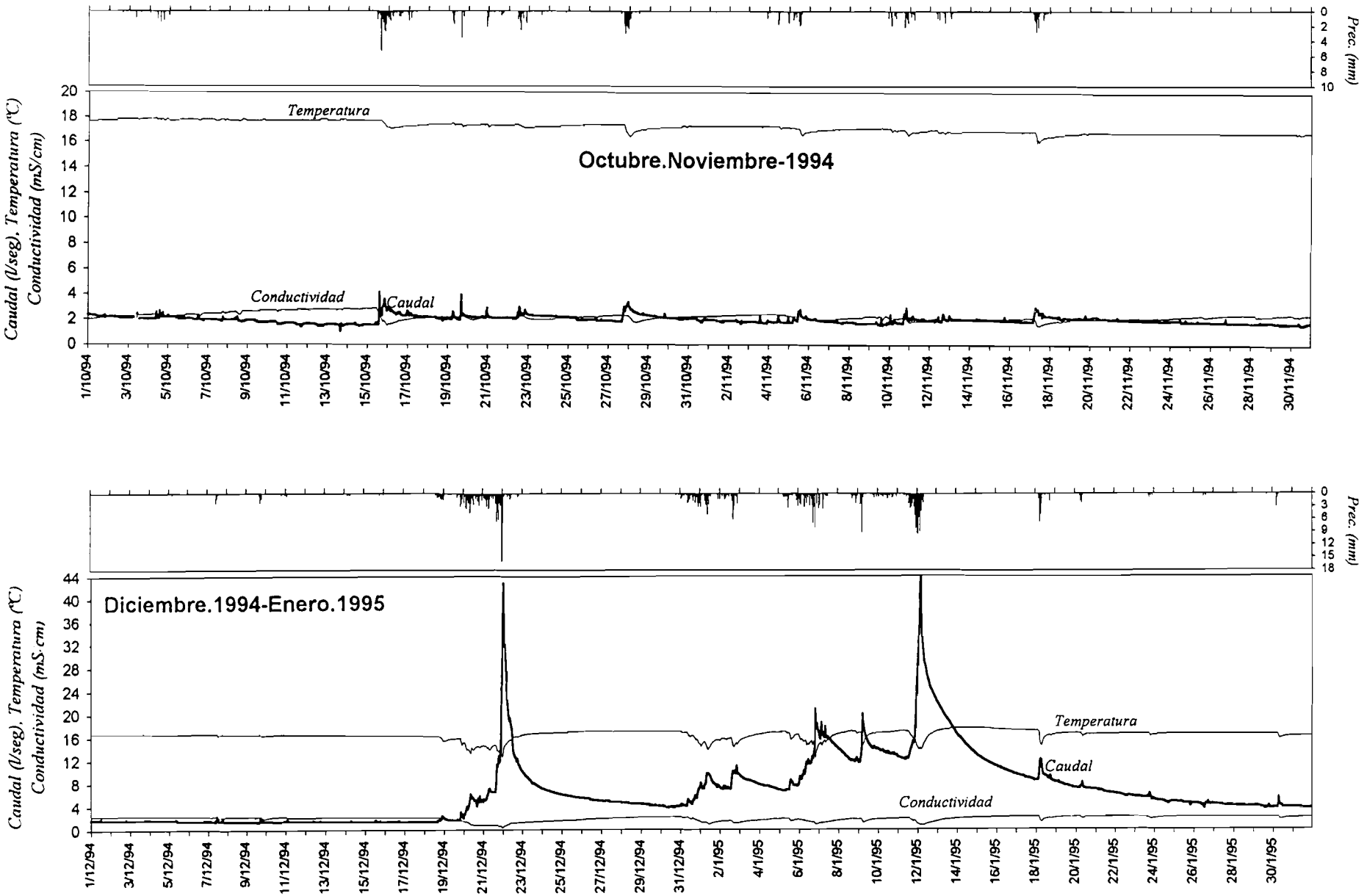


Figura 4.23. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Octubre.Noviembre-1994 (arriba) y Diciembre.1994-Enero.1995 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.

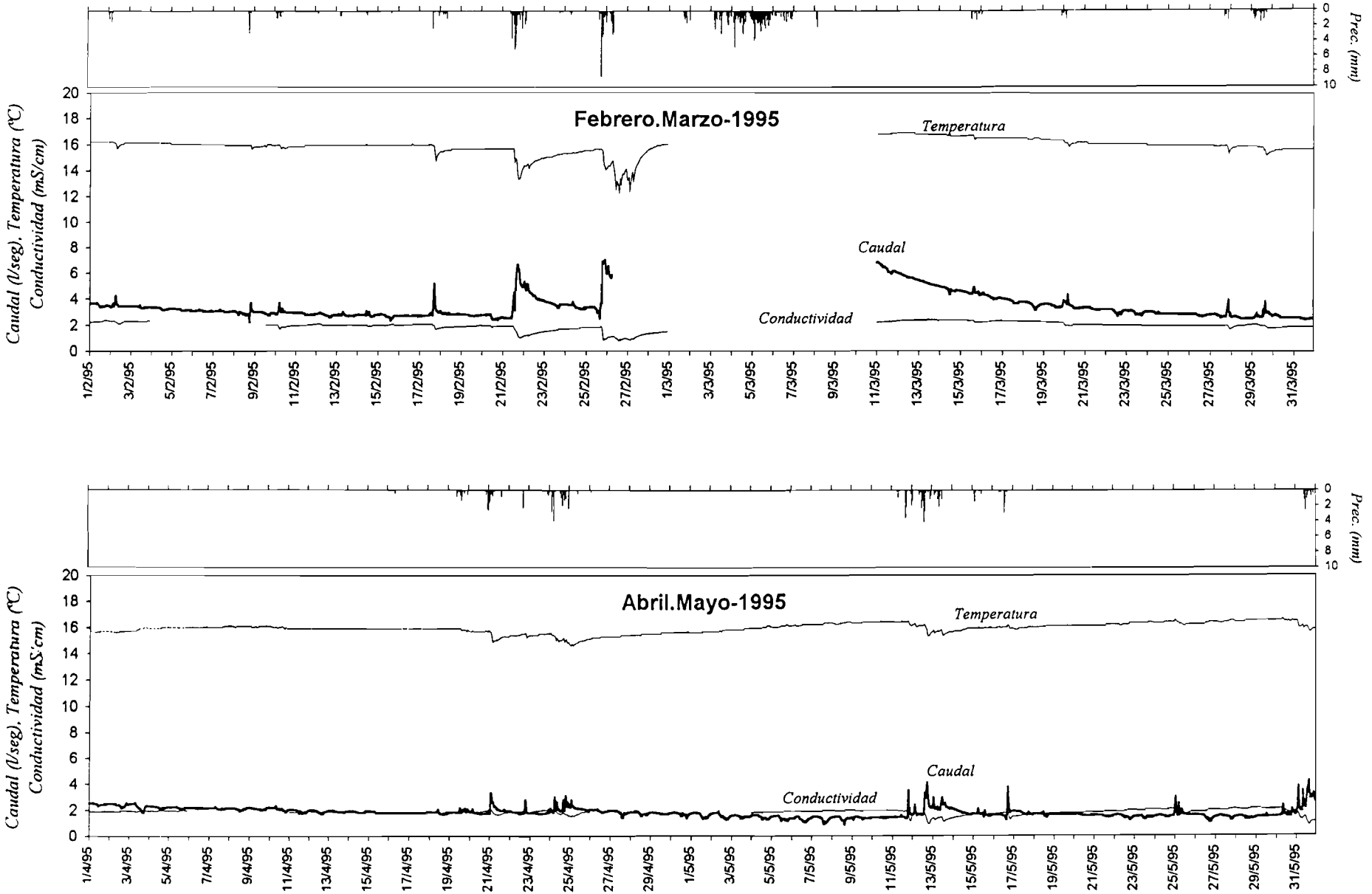


Figura 4.24. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Febrero.Marzo-1995 (arriba) y Abril.Mayo-1995 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios de precipitación.

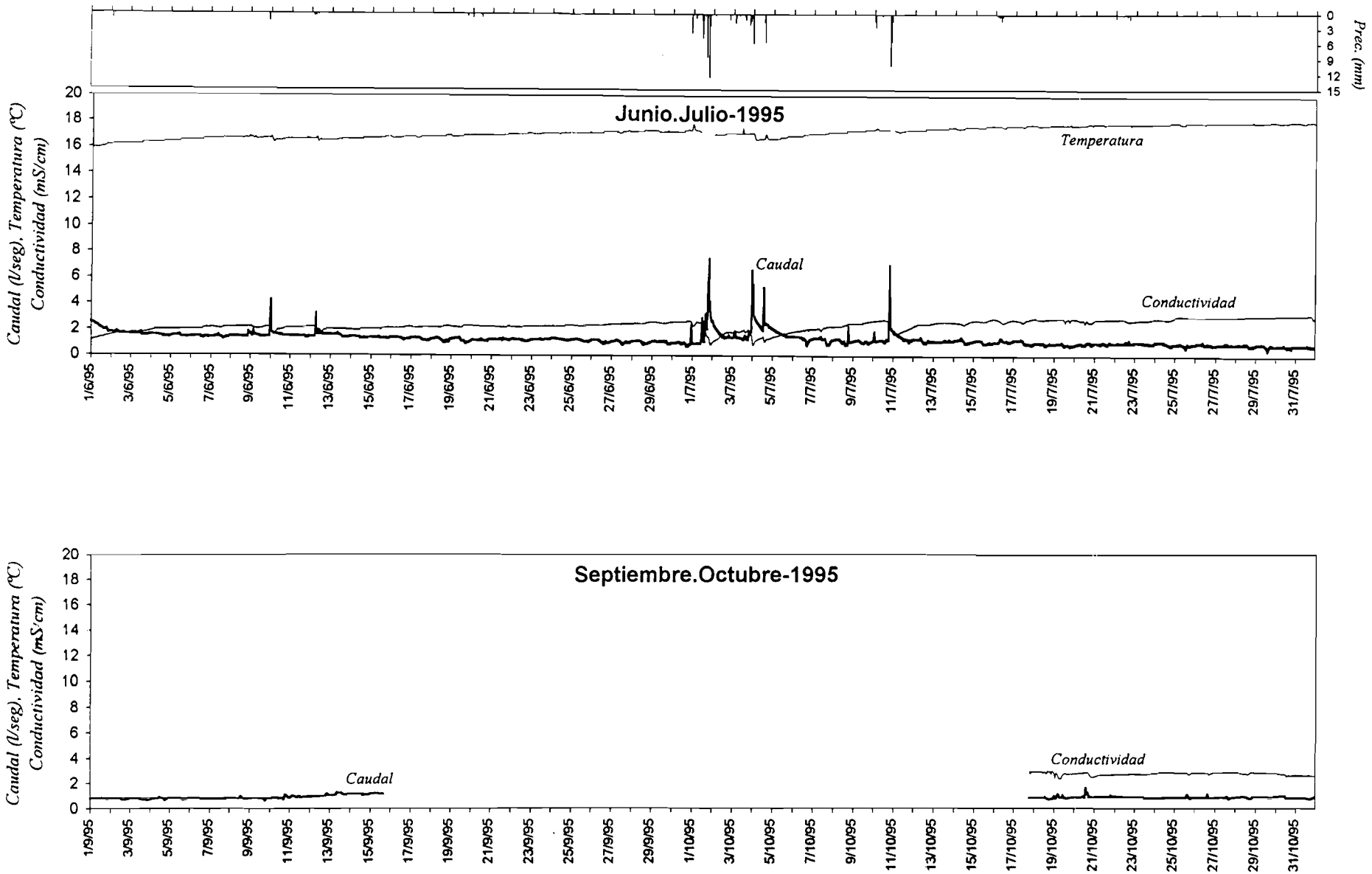


Figura 4.25. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Junio.Julio-1995 (arriba) y Septiembre.Octubre-1995 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados horarios (arriba) y diarios (abajo) de precipitación.

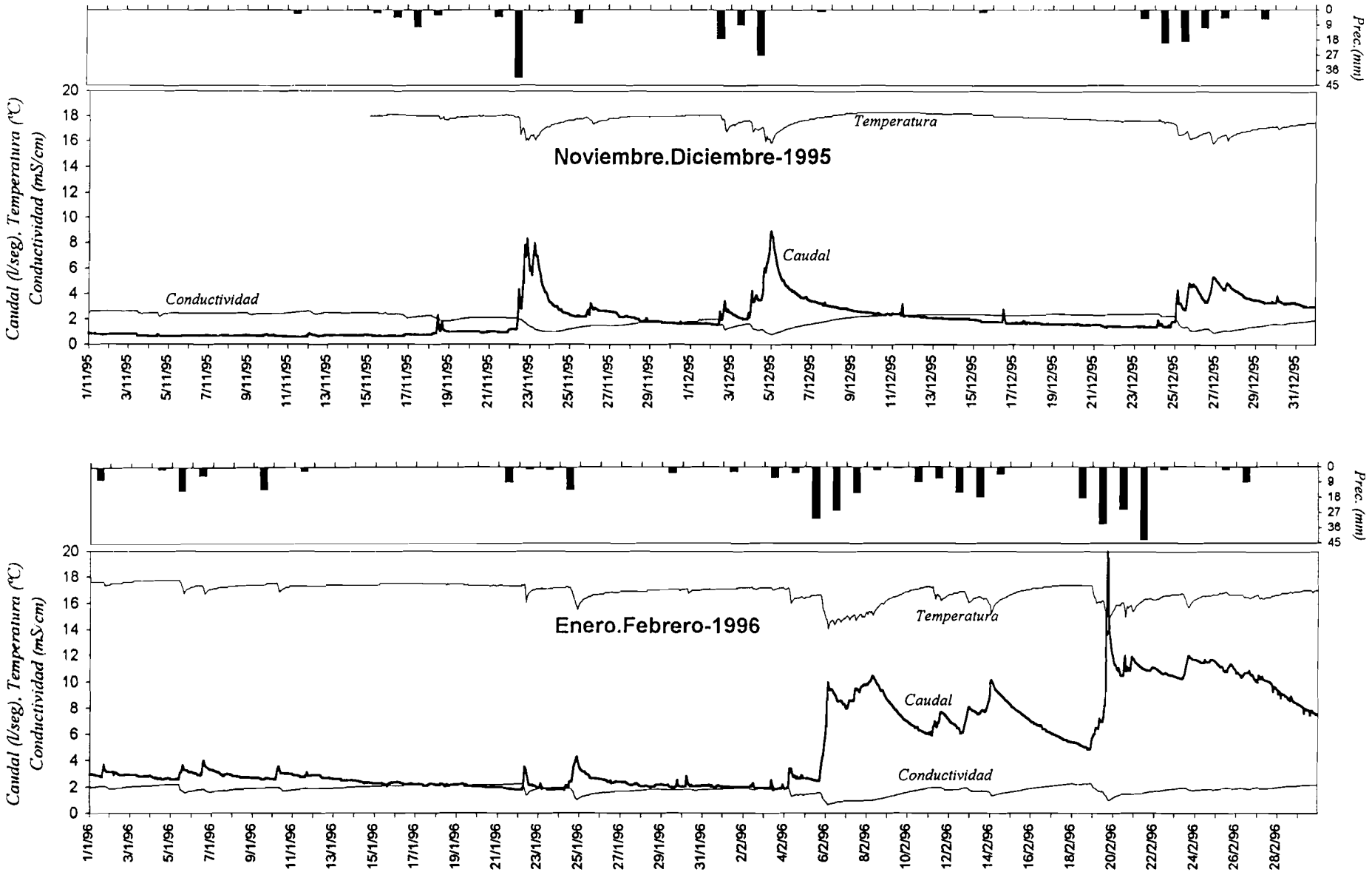


Figura 4.26. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Noviembre.Diciembre-1995 (arriba) y Enero.Febrero-1996 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados diarios de precipitación.

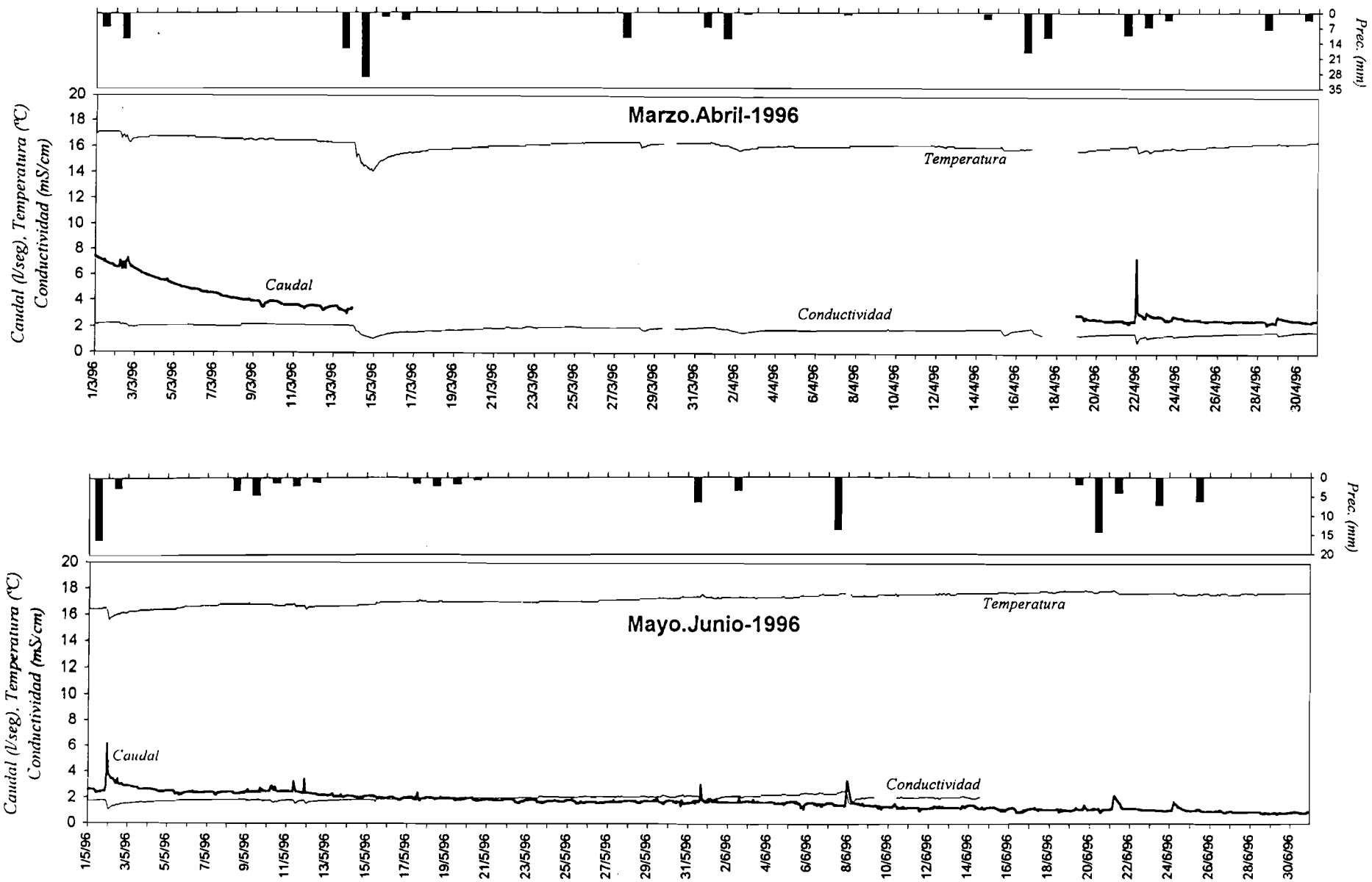


Figura 4.27. Evolución de la temperatura, conductividad y caudal de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx. Meses de Marzo.Abril-1996 (arriba) y Mayo.Junio-1996 (abajo). Datos horarios medios de temperatura, conductividad y caudal, y acumulados diarios de precipitación.

- En periodos de aguas altas (periodos de longitud importante con caudales superiores a unos 2-2,5 l/seg en su mayoría, como pueden ser de Octubre-1991 a Enero-1992, Abril.Mayo-1993, Octubre-1993 a Abril-1994, Enero.Marzo-1995, Diciembre-1995 a Marzo-1996) tampoco las precipitaciones de escasa importancia ejercen influencia sobre el caudal final. Esto es lógico si tenemos en cuenta que sólo caudales de infiltración rápida superiores a los drenados por el vertedero pueden provocar en éste aumento de caudal. Es decir, para un caudal supuesto constante a la salida del vertedero solamente precipitaciones que originen un caudal de infiltración rápida comparativamente mayor van a provocar crecidas. Sin embargo, pueden encontrarse algunas situaciones un tanto particulares. Así, los días 11 y 18 de Octubre-1993, 31 de Diciembre-1993, 3 de Enero-1994 y 18 de Enero-1995, durante periodos descendentes de caudal (curvas de decrecida) se producen ligeros aumentos de caudal tras precipitaciones poco importantes, comprendidas entre 6 y 10 mm en los 4 primeros casos, y de 24 mm en el último caso. En estos casos, el porcentaje de la lluvia que se ha infiltrado rápidamente en el vertedero ha tenido que ser muy alto, puesto que si no, no se habrían producido tales crecidas.

- La forma de las crecidas, cuando estas se producen, depende en gran medida de la intensidad de la precipitación, es decir, de su distribución en el tiempo. En la mayoría de las ocasiones la respuesta ante una precipitación es muy rápida dando lugar a curvas de crecida prácticamente verticales. Este fenómeno se observa con especial claridad, por ejemplo, en las crecidas producidas en Abril-1993 (día 25), Octubre-93 (día 21), Enero-94 (día 16) y Marzo-1994 (día 26). En estos casos, los aumentos de caudal responden a eventos de precipitaciones intensos, producidos en no muchas horas, y que contienen un intervalo de máxima precipitación muy claro (sólo observable en los periodos que cuentan con registros de precipitación horarios). Los desfases entre el comienzo de la lluvia y el comienzo del aumento de caudal son de 1-2 horas y de unas 2-4 horas los existentes entre el pico de lluvia y el pico de caudal, dependiendo de la distribución de la primera. Más ejemplos de este tipo de crecidas pueden encontrarse en la mayoría de las figuras de este apartado.

Esta rapidez de la respuesta pone de manifiesto la existencia de una infiltración muy rápida de gran parte del agua precipitada a través de los materiales depositados en el vertedero. Estos materiales han de tener por tanto una muy alta permeabilidad. La posible existencia de vías preferenciales dentro del mismo, comentada ampliamente en el capítulo 3, puede ayudar a explicar este tipo de respuestas.

Otro tipo de crecidas se producen cuando las precipitaciones son más homogéneas a lo largo de la duración del evento, con diferencias pequeñas entre la precipitación máxima en el intervalo unidad (1 hora) y el resto de las precipitaciones en los demás intervalos del evento. En estos casos, las formas de las crecidas son bastante menos verticales, teniendo los picos de caudal una geometría más simétrica. Los desfases entre el comienzo de la lluvia y el comienzo del aumento de caudal son también muy cortos, de entre 1-3 horas. Ejemplos de este tipo de crecida, en periodos que cuentan con registros de precipitación horarios, se pueden observar en Abril-1993 (días 2 a 5), Octubre-1993 (días 2 y 3), Diciembre-1994.Enero-1995 (crecidas comprendidas entre el 19 de Diciembre y el 10 de Enero). También en periodos en los que sólo se cuenta con datos de precipitación diarios pueden observarse crecidas con estas características (Diciembre-1991, días 20 y 21; Marzo-1992, días 23 a 25).

- Las decrecidas son también bastante rápidas para los casos de crecidas aisladas tanto en periodos de aguas bajas como altas, pero siempre con formas más tendidas que las de las respectivas crecidas. En ningún caso se han reconocido formas convexas en las decrecidas. Éstas siempre presentan formas cóncavas.

La primera parte de las curvas de decrecida presenta diferentes formas según cómo se hayan producido las precipitaciones. Si éstas cesan justo antes de producirse el pico de caudal, la curva de decrecida experimenta un fuerte descenso inicial para luego describir un descenso mucho más tendido. Como ejemplos de este tipo de decrecidas pueden citarse las registradas el 21-10-93 o el 26-3-94. En cambio, en otros casos, cuando siguen produciéndose precipitaciones con posterioridad a que se haya producido el pico de caudal, las curvas de decrecida son más tendidas desde un principio, caso de las decrecidas que se producen a partir de los días 8-2-94, 18-4-94, y entre los días 1 y 5 de Enero-1995.

- Los aumentos de caudal para el caso más simple de crecidas aisladas (aquellas que se producen tras varios días sin lluvias o con lluvias despreciables y con caudales de base estabilizados) son variables. Para caudales de base inferiores a 2 l/seg, las crecidas originadas dan origen a puntas comprendidas entre 2,9 y 12,8 l/seg para una gran variación de precipitaciones (9,4-33 mm). Para caudales de base superiores a 2 l/seg, las crecidas pueden alcanzar valores punta comprendidos entre 6 y 23 l/seg, también para lluvias de diferente intensidad (5,8-48 mm). En el primer caso (caudales de base inferiores), las relaciones caudal punta/caudal al comienzo de la crecida (Q_p/Q_b) son como norma mayores que en el segundo.

En la Tabla 4.9 se presentan los valores correspondientes a los caudales de base (Q_b), caudales punta (Q_p), relación Q_p/Q_b y precipitaciones para las crecidas aisladas diferenciadas a lo largo del periodo de control. Como se observa en esta tabla, en la que las crecidas están ordenadas según los valores de los caudales de base, algunas precipitaciones pueden provocar crecidas relativamente más importantes que otras precipitaciones mayores dependiendo del caudal inicial drenado por el vertedero.

- La influencia de las precipitaciones que dan lugar a estas crecidas aisladas desaparece por término medio a los 2-3 días de haberse producido el pico de caudal, es decir, los caudales drenados por el vertedero vuelven a ser los mismos que antes de que se produjese la crecida. Esto es así especialmente en los periodos de estiaje en los que las oscilaciones bruscas, aunque normalmente no muy importantes, son características. Ejemplos de este comportamiento puede observarse en los hidrogramas correspondientes a Agosto.Septiembre-1991, Julio.Agosto.Septiembre-1992 y Junio.Julio-1995. Esta es una prueba más de la rapidez con que se infiltran una parte importante de las aguas de precipitación (infiltración rápida) así como de la rapidez de la respuesta del vertedero ante esta componente del flujo total.

Estas influencias de las precipitaciones también se han estudiado en periodos largos, del orden de 4 a 13 días en los que llueve de forma continuada, seguidos por periodos también más o menos largos sin lluvias. En la Tabla 4.10 se presentan los resultados de este estudio. Se comprueba que la influencia de estos periodos lluviosos (n° de días durante los cuales el caudal es superior al caudal de base inicial) depende, por una parte, y como es lógico, de la cantidad de agua precipitada de forma directa, y por otra, del caudal base inicial.

FECHA	Q_b (l/seg)	Q_p (l/seg)	Q_p/Q_b	Pp (mm)
2/9/91	0,36	6,64	18,44	17,4
6/9/91	0,44	10,46	23,77	31,9
26/9/91	0,62	11,13	17,95	32,3
8/9/92	1,05	2,89	2,75	12
8/8/92	1,1	4,65	4,23	20,3
10/7/95	1,25	7	5,60	13
8/6/96	1,35	3,33	2,47	13,7
12/2/92	1,68	4,64	2,76	17
26/3/94	1,72	12,84	7,47	33,5
2/6/94	1,75	4,64	2,65	22
22/1/96	1,77	3,5	1,98	9,4
21/10/93	2,1	10,51	5,00	22,2
1/5/96	2,45	6,16	2,51	16,3
21/2/95	2,52	6,63	2,63	20,6
22/4/96	2,52	7,39	2,93	10,2
17/10/93	2,58	4,94	1,91	8,6
25/4/92	2,75	15,26	5,55	40
5/10/91	2,97	8,15	2,74	15,2
11/10/93	4,02	6,88	1,71	5,8
16/1/94	4,55	23,68	5,20	48
1/10/93	6	13,04	2,17	21,2
3/1/94	7,65	9,98	1,30	9,8
18/1/95	8,39	12,89	1,54	19,7
31/12/93	11,34	13,48	1,19	8,1

Tabla 4.9. Caudales de base (Q_b), caudales punta (Q_p), relación Q_p/Q_b y precipitación registrada para las crecidas aisladas diferenciadas. Vertedero de Lapatx.

Periodo lluvias	nº días lluvia	Precip. (mm)	nº días influenciados	Q_{base} (l/seg)
13/11/91 a 21/11/91	9	225,8	18	4,75
25/4/93 a 2/5/93	8	129	20	2,75
6/11/93 a 14/11/93	9	60	11	2,90
16/1/94 a 19/1/94	4	75,8	12	4,55
31/12/94 a 12/1/95	13	298,1	26	4,20

Tabla 4.10. Influencia de eventos de precipitación largos sobre el caudal generado. Vertedero de Lapatx.

El número de días influenciados por estos eventos de precipitación varía entre 11 y 26 para precipitaciones comprendidas entre 60 y 298 mm. A la vista queda, de nuevo, la rapidez con que se produce la respuesta del vertedero ante la componente rápida del flujo (infiltración rápida).

- Cuando las precipitaciones no son aisladas sino que constituyen una serie, los hidrogramas resultantes presentan algunas peculiaridades (ver los hidrogramas de Noviembre-1991, Octubre.Noviembre-1993, principios de Febrero-1994, Abril-1994, Enero-1995 y Noviembre.Diciembre-1995):

La primera precipitación importante provoca, con desfases muy cortos (1-2 horas), un rápido aumento de caudal, con curvas de crecida casi verticales. Las sucesivas precipitaciones importantes de la serie también provocan crecidas destacables, mayores o menores que la primera en función de su intensidad. Sin embargo, la forma de estas nuevas crecidas tiende a ser algo más tendida que la de la primera.

Entre crecidas sucesivas de una misma serie los descensos de caudal pueden ser considerables. Por ejemplo, en las series de Octubre-1993 los descensos alcanzan los 5-6 l/seg (días 2-10-93 y 21-10-93). Estos descensos dependen de la longitud del intervalo en el que no se produzcan precipitaciones, o aunque produciéndose, éstas sean muy pequeñas en relación a las principales.

Durante estos periodos lluviosos todas las precipitaciones intermedias medianamente importantes (10-20 mm, según el caudal de base existente) así como los periodos sin lluvias o con lluvias escasas, quedan reflejadas en el hidrograma con desfases de muy pocas horas (2-4 horas). En especial, las crecidas ocasionadas por las precipitaciones más intensas de los eventos pueden identificarse con bastante claridad (por ejemplo, en el hidrograma de Enero-1995).

Los caudales se mantienen muy poco tiempo con valores elevados. Así por ejemplo, solo en 4 ocasiones se mantienen caudales por encima de 20 l/seg durante más de 1 día (durante los días 30-9-91, del 20 al 22-11-91, del 10 al 11-4-94, y durante el 12-1-95), coincidiendo, como es normal, con las fases en las que se registran los episodios de precipitación más importantes. Estas observaciones vuelven a poner de manifiesto, una vez más, la rapidez con que se produce la respuesta del vertedero ante la infiltración rápida de la lluvia .

- Cuando las precipitaciones se producen en forma de nieve, los hidrogramas toman formas claramente diferentes. Hidrogramas de este tipo pueden observarse en la gráfica de Febrero-1996, mes en el que se sucedieron importantes nevadas, especialmente durante los días 20 y 21. Estas formas de precipitación no provocan crecidas rápidas y casi verticales como la mayoría de las lluvias, sino que, por el contrario, lo que ocasionan es un mantenimiento de los caudales en los valores precedentes a lo largo de varios días. Así, tras las importantes nevadas de los días 20 y 21 (en la estación de Azkoitia se registraron 25 y 43 mm respectivamente; la lluvia durante esos días fue despreciable), los caudales se mantienen por encima de los 10 l/seg durante unos 7 días, con leves variaciones, tras los cuales descienden de forma más tendida que en el caso de los hidrogramas debidos a lluvias.

En este mismo hidrograma puede observarse las diferencias con la crecida producida por las precipitaciones en forma de lluvia ocurridas durante los 2 días antes de las fuertes nevadas. El caudal aumenta de 4,88 a 20,34 l/seg rápidamente tras las lluvias de 18,7 y 34 mm registradas en los días 18 y 19 respectivamente.

Relaciones caudal/temperatura y caudal/conductividad

En todos los hidrogramas disponibles puede comprobarse cómo cualquier incremento mínimamente importante de caudal va acompañado de descensos apreciables tanto de temperatura como de conductividad. Esto es así, tanto si las variaciones de caudal se deben a precipitaciones aisladas o a series consecutivas de las mismas, y es independiente de que estemos en periodos de aguas altas o bajas.

Estos descensos de temperatura y conductividad se producen más o menos rápidamente según cómo se produzcan las crecidas. Si éstas últimas presentan curvas casi verticales (respuesta a eventos de precipitación intensos, producidos en no muchas horas y que

contienen un intervalo de máxima precipitación muy claro) los descensos se producen de forma también brusca. Ejemplos de este tipo de respuesta se aprecian en los hidrogramas que aparecen en la Figura 4.28, en los casos de los descensos de los días 1-10-93, 21-10-93 y en menor medida en el del día 16-1-94. En cambio, si los aumentos de caudal son más progresivos (respondiendo a lluvias más homogéneas), también los descensos de temperatura y conductividad lo son (caso por ejemplo de los descensos registrados en el día 8-2-94 y entre los días 19 y 21 de Diciembre-1994, observables todos ellos también en la Figura 4.28). Los desfases entre las puntas de caudal y los valores mínimos de temperatura son muy pequeños, de 1 hora como mucho. En cambio, en algunos casos, los desfases con los mínimos de conductividad pueden ser algo mayores, incluso aproximarse a las 2 horas.

En el caso de que se tengan series consecutivas de crecidas de importancia similar, se observa que los máximos descensos de temperatura y conductividad se producen asociados a la primera crecida (hidrograma superior de la Figura 4.28). Durante las posteriores crecidas, los descensos son menores produciéndose de forma más suave.

Las recuperaciones de los valores de temperatura y conductividad se realizan en todos los casos de forma muy progresiva, sólo perturbándose en el caso de que se produzcan nuevas precipitaciones.

La cuantía de los descensos de estos parámetros es variable. En la Tabla 4.11 se muestran las diferencias entre los valores de base de la temperatura y conductividad (T_b y C_b), antes de producirse aumentos de caudal representativos, y los valores mínimos (T_p y C_p) registrados como consecuencia de dichos aumentos. También se representan los caudales de base (Q_b), los caudales punta (Q_p), la relación entre ambos (Q_p/Q_b), así como la precipitación responsable de las crecidas. De las crecidas referenciadas en esta tabla, 3 de ellas (las de los días 1-10-93, 21-10-93 y 16-1-94) pueden observarse, además de en las figuras del apartado anterior, en la Figura 4.28.

FECHA	Q_b (l/seg)	Q_p (l/seg)	Q_p/Q_b	Pp (mm)	T_b	T_p	T_b-T_p	C_b	C_p	C_b-C_p
25/4/93	2,75	15,26	5,55	40	14,92	12,40	-2,52			
1/10/93	6	13,04	2,17	21,2	17,90	16,22	-1,68	2,92	1,51	-1,41
21/10/93	2,1	10,51	5,00	22,2	17,60	15,07	-2,53	2,97	1,19	-1,78
16/1/94	4,55	23,68	5,20	48	15,93	11,47	-4,46	2,19	0,82	-1,37
21/2/95	2,52	6,63	2,63	20,6	15,60	13,27	-2,33	1,88	0,96	-0,92
22/4/96	2,52	7,39	2,93	10,2	16,20	15,70	-0,5	1,59	0,87	-0,72
1/5/96	2,45	6,16	2,51	16,3	16,50	15,55	-0,95	1,77	1,04	-0,73

Tabla 4.11. Descensos de temperatura (°C) y conductividad (mS/cm) asociados a crecidas aisladas. Vertedero de Lapatx.

Los descensos de temperatura varían entre 0,5°C y 4,46°C y los de conductividad entre 0,72 y 1,78 mS/cm para precipitaciones variables entre 10,2 y 48 mm. Se comprueba que los máximos descensos de estos parámetros se producen asociados a las crecidas que presentan una mayor relación Q_p/Q_b, casos de las crecidas producidas los días 21-10-93 y 16-1-94. Asociada a esta última crecida se alcanza el valor mínimo registrado de temperatura de todo el periodo controlado (11,47°C), mientras que asociada a la crecida del día 22-12-94 (gráfica inferior de la Figura 4.28), en la que se sobrepasan los 42 l/seg. se alcanza el valor mínimo de conductividad registrado (0,46 mS/cm).

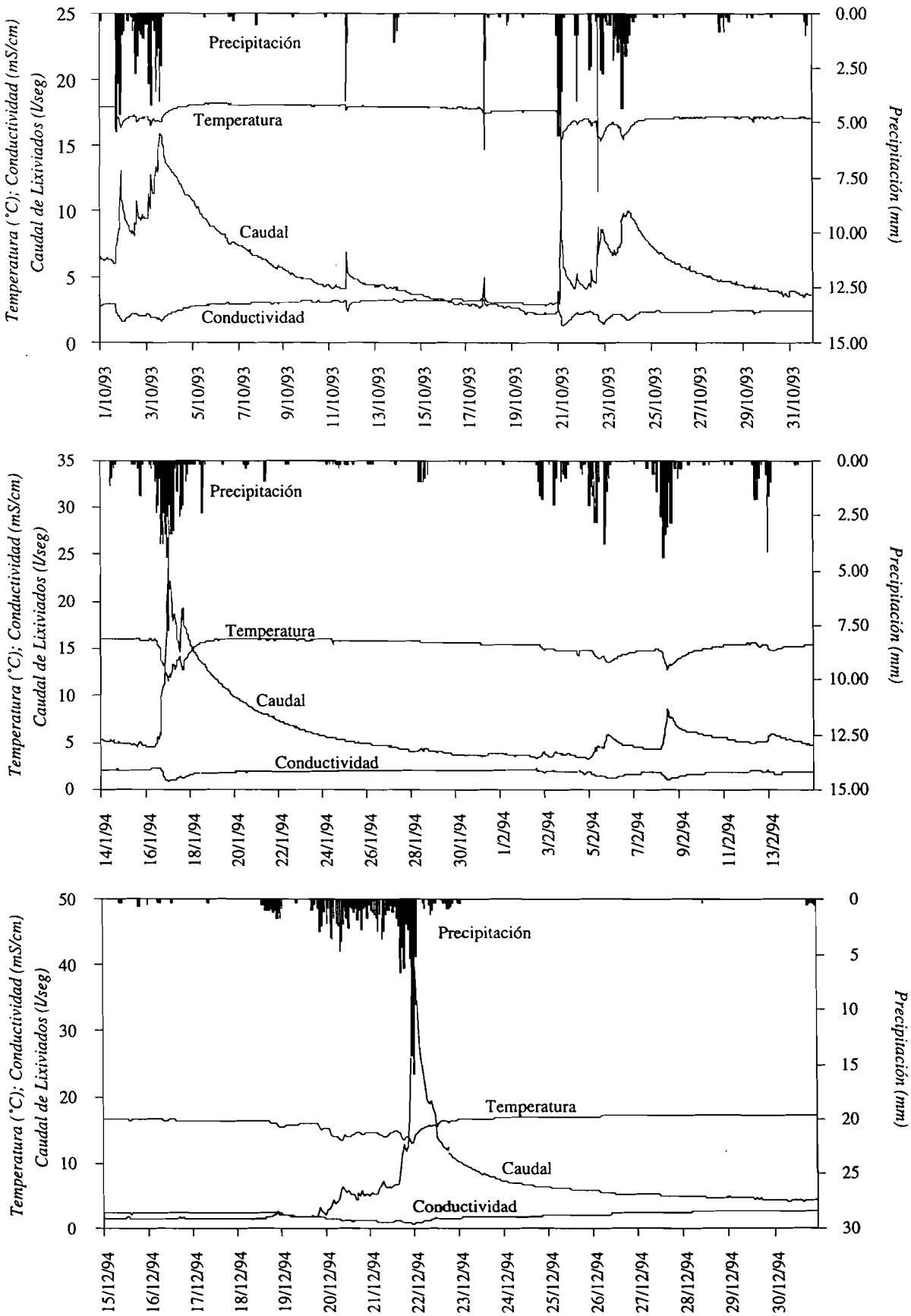


Figura 4.28. Evolución detallada del caudal, temperatura y conductividad (datos horarios medios) de los lixiviados generados en el vertedero de Lapatx en relación a las precipitaciones (datos acumulados horarios) registradas en el mismo vertedero.

4.2.5.5. ANÁLISIS CORRELATORIO Y ESPECTRAL

Como ya se ha comentado anteriormente, el análisis correlatorio y espectral (ACE) se utiliza para describir el comportamiento de sistemas hidrológicos y, por tanto, para su comparación a partir de una serie de parámetros deducibles mediante este análisis: efecto memoria, banda espectral, tiempo de regulación e hidrograma unitario (imagen del correlograma cruzado).

El análisis se ha realizado sobre series cronológicas de precipitación y caudales de lixiviados para periodos de tiempo que oscilan entre los 190 y 303 días. En la Tabla 4.12 se indican los intervalos de datos seleccionados así como otras características de las series utilizadas (nº de datos y carácter de los mismos, truncamiento seleccionado y valores medios y varianzas de las series). Tanto los datos de partida como los resultados numéricos de este análisis pueden consultarse en los Anexos 4.2 y 4.3.

Los ACE-III y ACE-IV se han realizado a partir de información relativa al mismo periodo de tiempo con la única diferencia de que en el segundo caso se han utilizado valores cada 12 horas y en el primero valores diarios (en ambos casos valores medios de caudal calculados a partir de los datos registrados cada 10 minutos por la estación HYDRODATA-1256, y acumulados de precipitación). Por otra parte, previamente a la realización del ACE-II se ha debido estimar del orden de 10 valores de caudales diarios debido a la ausencia de los mismos (correspondientes a fechas en las que los aparatos sufrieron averías). Este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de la interpretación de los resultados.

					Caudal (l/seg)		Precipitación (mm)	
Código	Periodo	nº datos	Carácter	Truncamiento	Media	Varianza	Media	Varianza
ACE-I	30-7-91 a 26-3-92	241	diarios	80	3,65	24,52	4,10	114,47
ACE-II	30-9-93 a 29-7-94	303	diarios	100	4,7	25,73	4,21/5,23	99,59/124,6
ACE-III	20-8-94 a 25-2-95	190	diarios	63	3,51	14,67	4,3/5,14	90,07/106,6
ACE-IV	20-8-94 a 25-2-95	380	cada 12 horas	125	3,49	15,09	2,58	40,35

Tabla 4.12. Características de los Análisis correlatorios y espectrales efectuados. Vertedero de Lapatx.

Como datos de precipitación se han utilizado los registrados por la estación Azkoitia-Iberdrola (código 1037Q) en los ACE-I, II y III. En el II y en el III también se han utilizado los registrados por la estación METOSDAT, situada en el mismo vertedero de Lapatx. Por último, en el ACE-IV sólo se han utilizado los de la estación METOSDAT, al disponer la primera estación (Azkoitia-Iberdrola) únicamente de valores acumulados diarios y no a intervalos de 12 horas.

A continuación se comentan en primer lugar los resultados relativos a las precipitaciones, por constituir la función de entrada a modular por el sistema, para pasar después a comentar los resultados de las crónicas de caudales.

Análisis de la función de entrada (precipitaciones)

En la Figura 4.29 se presentan las funciones de autocorrelación y espectros de densidad de varianza para las series de precipitación utilizadas en cada caso (también se presentan las funciones de autocorrelación y espectros de densidad de varianza para las series de caudal).

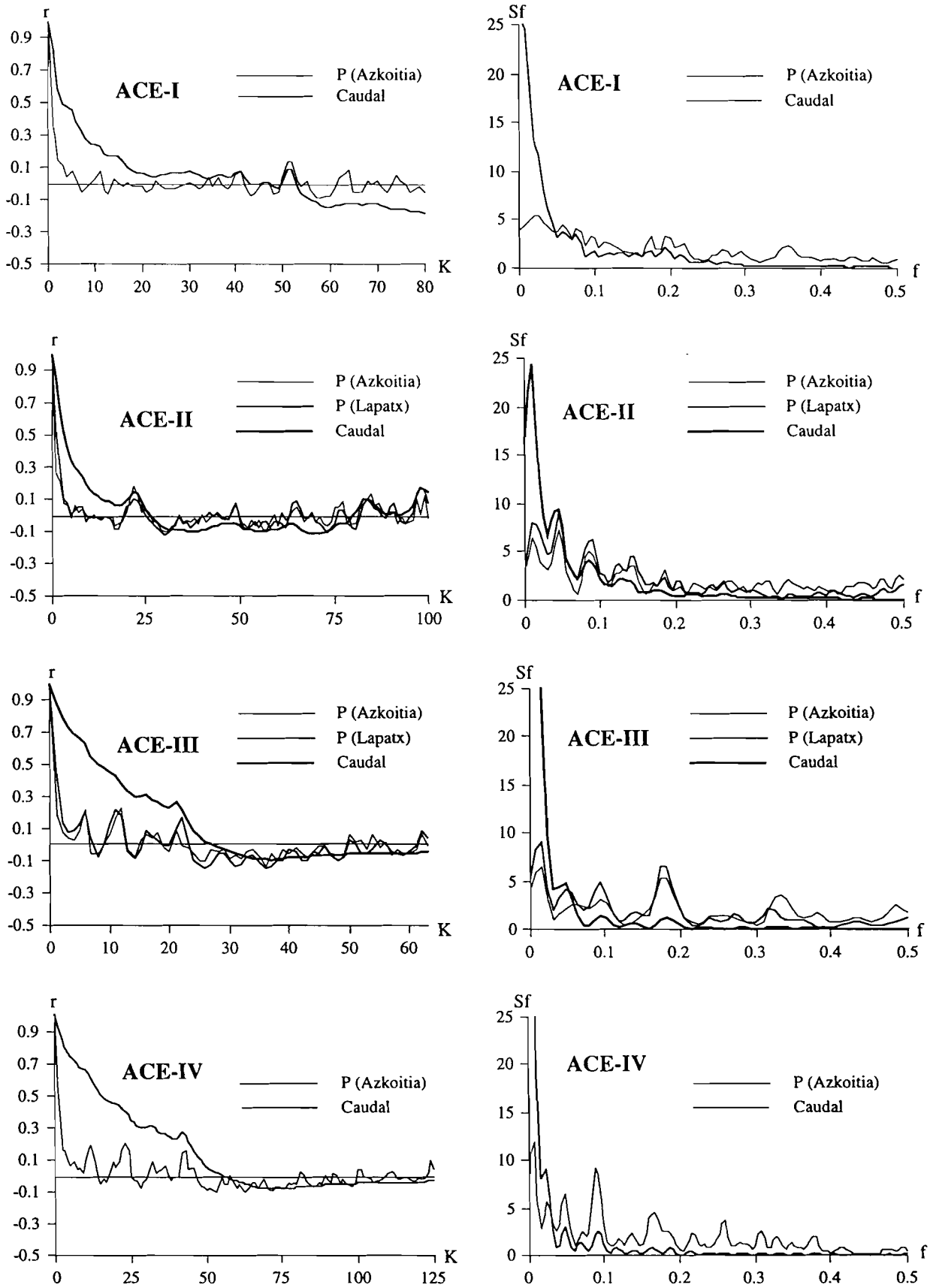


Figura 4.29. Resultados del Análisis correlatorio y espectral. Funciones de autocorrelación (izquierda) y espectros de densidad (derecha). Vertedero de Lapatx.

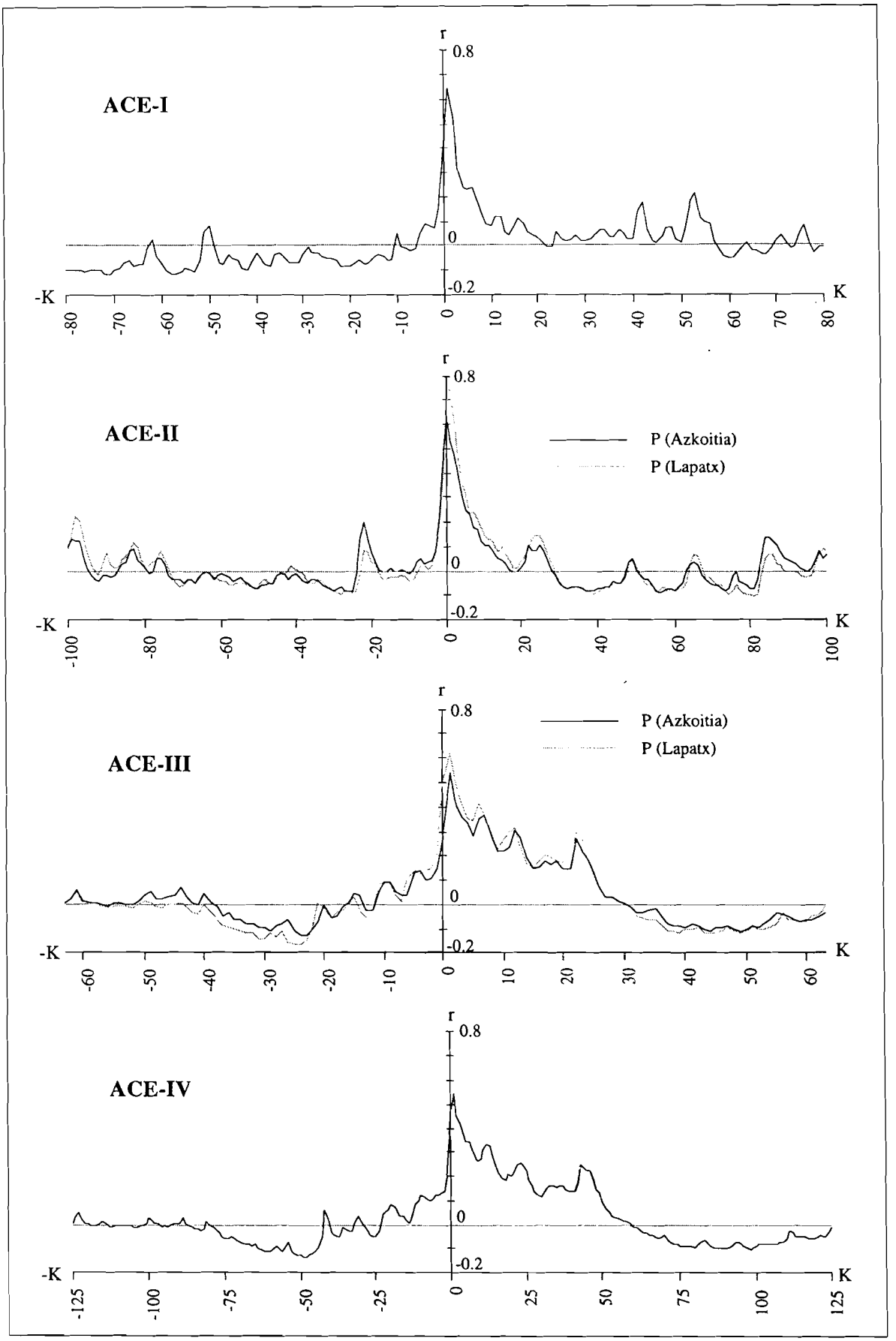


Figura 4.30. Resultados del Análisis correlatorio y espectral. Correlogramas cruzados. Vertedero de Lapatx.

Los correlogramas simples ponen de manifiesto el carácter prácticamente aleatorio de las precipitaciones, al menos para los cortos periodos de tiempo considerados. Los efectos memoria (r=0,1-0,2) rondan los 1-3 días. En los ACE-II y III puede observarse las similitudes existentes entre los correlogramas correspondientes a las series de precipitación de las estaciones de Azkoitia-Iberdrola y Lapatx (METOSDAT).

Los espectros, por su parte, muestran picos en determinadas frecuencias, especialmente en el dominio de las bajas frecuencias, evidenciando la existencia de señal de información relativa a las mismas. En el ACE-I aparecen picos que corresponden a ciclicidades de 52, 17,8, 13,3 y 10.5 días. En el ACE-II picos correspondientes a ciclos de 22, 11, 8 y 7 días, mientras que en los ACE-III y IV se aprecian ciclicidades a los 21, 10,5, 7 y 5,7 días. Como se ve, en los ACE-II, III y IV se observan prácticamente los mismos picos, mientras que en el ACE-I, éstos son claramente diferentes, lo que puede ser indicativo de un comportamiento meteorológico diferenciado en este periodo.

Análisis de la función de salida (caudales)

Los resultados de los tratamientos efectuados para los periodos de tiempo considerados se presenta de forma gráfica en las Figuras 4.30 (correlogramas cruzados), y en el Anexo 4.3.2 (funciones de amplitud cruzadas, de fase, de ganancia y de coherencia). Las funciones de autocorrelación y los espectros de densidad de varianza para las series de caudales se mostraban en la Figura 4.29. De ahora en adelante, FCC es función de correlación cruzada, FAC (función de amplitud cruzada), FGA (función de ganancia), FFA (función de fase) y FCO (función de coherencia).

Los correlogramas simples muestran decrecimientos relativamente rápidos en el caso de los ACE-I y II, y bastante más suaves en los ACE-III y IV (recordar que estos últimos se refieren al mismo periodo de información). Como se indica en la Tabla 4.13, los efectos memoria deducidos son de 11-17 días para ACE-I, de 8-13 días para ACE-II, y de 23-24 días para los 2 últimos casos. Salvo en el ACE-I, aparece una clara discontinuidad hacia K= 21-22 días que también aparece en los correlogramas simples de las series de precipitación. A excepción del pico (discontinuidad) referido, no se aprecian otros picos de importancia destacable en ninguno de los correlogramas simples realizados.

En los espectros de densidad de varianza se pueden observar en los dominios de las bajas frecuencias picos bien definidos que se corresponden claramente con los picos presentes en los espectros de las precipitaciones. También evidencian los buenos filtrajes para precipitaciones producidas en periodos inferiores a 4,5-5,3 días (los valores de Fc varían entre 0,22 y 0,19). Por otra parte, los tiempos de regulación son bastante cortos, comprendidos entre 8,1 (ACE-II) y 19 días (ACE-III y IV). Estos resultados ponen en evidencia el escaso efecto modulador general y de filtraje de la información de entrada que se produce en este sistema hidrológico (vertedero de Lapatx).

Los correlogramas cruzados (imágenes de los hidrogramas unitarios) son, en todos los casos, estrechos y puntiagudos, evidenciando la notable importancia de la respuesta rápida del sistema. Las correlaciones lluvias-caudal son elevadas, alcanzándose valores de r cercanos a 0,8. Los picos principales vienen acompañados de otros secundarios, especialmente en los ACE-II, III y IV, confiriendo a los FCC una cierta ciclicidad.

Código	Efecto memoria r=0,1-0,2	Banda espectral (F_c)	Tiempo de regulación ($S_{fo}/2$)	Correlograma cruzado
ACE-I	11-17	0,22	13,10	estrecho y puntiagudo
ACE-II	8-13	0,19	8,12	estrecho y puntiagudo
ACE-III	23-24	0,20	19	estrecho y puntiagudo
ACE-IV	44-47	0,10	37,10	estrecho y puntiagudo

Tabla 4.13. Parámetros característicos deducidos de los Análisis correlatorios y espectrales efectuados. Vertedero de Lapatx.

Las FAC (funciones de amplitud cruzada) muestran los buenos filtrajes de las lluvias para frecuencias mayores de 0,22-0,15, según los casos, es decir, para periodos inferiores a 4,5-6,6 días. En el dominio de las bajas y medias frecuencias se observa buena relación lluvias-caudales para las frecuencias comentadas en los espectros simples. Se deduce de nuevo la escasa transformación que opera el sistema sobre la información de entrada.

Las FGA muestran las notables amplificaciones que experimentan las precipitaciones correspondientes a periodos superiores a 13-24 días (frecuencias menores, según los casos, de 0,04-0,077). Las FFA expresan buena regularidad entrada-salida en los dominios de las bajas y medias frecuencias. Para frecuencias mayores a las citadas como Fc (0,22 en ACE-I, 0,20 en ACE-III, esta relación se hace más irregular. FCO también indican coherencia del sistema para las bajas y medias frecuencias, pero claras rupturas en las altas (coincidiendo en los límites antes citados).

Conclusiones

En general, puede decirse que se observa congruencia en la informaciones suministradas por el análisis correlatorio y espectral. A descensos más rápidos del correlograma de caudales (menor valor del efecto memoria) le corresponde menor filtraje de las lluvias (mayor Fc), menor diferencia entre la amplificación y la atenuación (FGA), mayor regularidad de los desfases lluvia-caudal para cada frecuencia (FFA), y una mayor linealidad del sistema en las frecuencias en las que lluvia y caudal están bien relacionadas (FCO).

Los resultados obtenidos en los ACE-II y III son muy parecidos, indistintamente de que se utilicen como datos de precipitación de partida los correspondientes a la estación Azkoitia-Iberdrola o de Lapatx, a pesar de que las cantidades de lluvia recogidas en ambas estaciones puede, en periodos concretos, diferir de manera notable. Así, por ejemplo, durante el periodo considerado en el ACE-III, en la estación de Azkoitia-Iberdrola se recogieron 820 mm de lluvia, mientras que en la de Lapatx se alcanzó la cifra de 976 mm. La distribución de las mismas es, sin embargo, muy similar.

Se comprueba también que los ACE-III y IV (realizados a partir de la misma información con la diferencia de que en el segundo caso se han utilizado valores cada 12 horas y en el primero valores diarios) proporcionan los mismos resultados, a pesar de que el número de registros de las series del ACE-III pueda parecer en principio insuficiente (190 registros).

Las diferencias encontradas entre los ACE efectuados (diferentes efectos memoria, tiempos de regulación, etc.) cabe atribuirlas a las diferentes formas de distribución de las lluvias durante los distintos periodos analizados. En los ACE-III y IV, en los que se obtienen los mayores efectos memoria, las lluvias se concentran de forma especial a lo largo de un

corto periodo de tiempo (entre el 18-12-94 y el 18-1-95 caen el 50% de las lluvias totales). En este corto periodo, en el que los caudales están fuertemente condicionados por las precipitaciones, las influencias de éstas sobre aquéllos tardan en desaparecer. Al considerar en este ACE únicamente información referente a 190 días, la influencia del corto periodo citado será proporcionalmente mayor que si se hubiese considerado un mayor número de días. En cambio, las precipitaciones a lo largo de los periodos considerados en los ACE-I y II se distribuyen mucho más homogéneamente, desapareciendo las influencias de las precipitaciones de forma más rápida.

Puede considerarse al vertedero de Lapatx como un sistema poco inercial. El efecto modulador y de filtraje de la información de entrada que se produce en este sistema es escaso. Curiosamente, el comportamiento de este sistema es similar al de los acuíferos kársticos sensu stricto, con redes de conductos bien desarrollados y jerarquizados. En este caso, el papel de la red de conductos sería realizado por la red de drenaje del vertedero (sistema de drenes en forma de espina de pez).

4.2.5.6. ANÁLISIS DE LOS AGOTAMIENTOS

El estudio se ha centrado particularmente en las curvas de agotamiento que presentan tramos rectos bien definidos, escogiéndose un único agotamiento por cada año hidrológico (Figura 4.31). En estas condiciones, de régimen no influenciado por la precipitación, las aportaciones provienen prácticamente en su totalidad de las reservas subterráneas (lixiviados almacenados en el vertedero).

En la Tabla 4.14 se recogen los resultados obtenidos en el análisis de los diferentes agotamientos estudiados. Los parámetros considerados han sido el caudal punta (Q_o=Q_p), caudal al inicio de la recesión referido al caudal de base (Q_{Ro}), pendiente (m), coeficiente de agotamiento (α) y el volumen dinámico inicial (V_{Ro}). Este último parámetro sólo se ha calculado en 2 ocasiones. En las restantes no ha podido calcularse debido a la pérdida de información durante periodos en lo que se producía la última crecida importante del año hidrológico (no es posible calcular Q_o y Q_{Ro}). Al objeto de disponer de algún valor de comparación entre los distintos estiajes se han calculado también los volúmenes dinámicos para la fecha 30 de Junio de cada año (V_J).

El valor medio de los coeficientes de agotamiento (α) es de 0,018 días^{-1}, siendo el mínimo de 0,011 y el máximo de 0,025 días. Estos valores son del mismo orden que los obtenidos por otros autores (Llanos, 1992) al estudiar los agotamientos de surgencias de acuíferos kársticos sensu stricto. Los valores que toma V_J son variables sin que se aprecie un incremento continuado con los años.

Año hidrológico	Qo (Qp) (l/seg)	Qro (l/seg)	pendiente	α (días^{-1})	Vd (m^3)	Qj (l/seg)	Vj (m^3)
1990-91	-	-	1/443	0,0161	-	1,00	5.366
1991-92	-	-	1/117	0,0197	-	2,8	12.293
1992-93	13,24	5	1/90	0,0256	16.886	0,9	3.039
1993-94	25,95	6	1/126	0,0183	28.368	1,2	5.674
1994-95	-	-	1/193	0,0119	-	0,9	6.518
1995-96	-	-	1/134	0,0172	-	0,95	4.777

Tabla 4.14. Parámetros obtenidos a partir de los agotamientos estudiados. Vertedero de Lapatx.

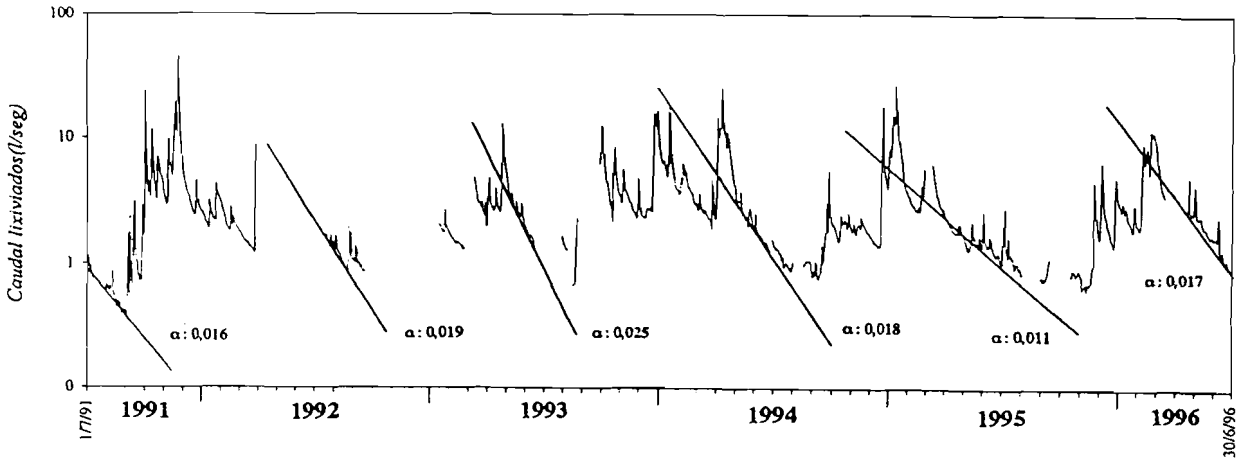


Figura 4.31. Agotamientos diferenciados. Vertedero de Lapatx.

4.2.5.7. CAUDALES CLASIFICADOS

La curva de distribución de frecuencias acumuladas de caudales (Figura 4.32) se ha confeccionado considerando la totalidad de la información disponible entre el periodo 1-7-1991 a 30-6-1996. En conjunto, se han tenido en cuenta 1.340 datos de caudales medios diarios, faltando los correspondientes a 487 días a causa de distintas averías que impidieron el correcto funcionamiento del caudalímetro instalado. A pesar de que la serie utilizada es incompleta, se ha considerado útil la aplicación de esta técnica de estudio dado el volumen de información disponible y su representatividad.

En esta curva de distribución así como en la Tabla 4.15, en la que se exponen los intervalos de clase en los que se han agrupado los caudales, las frecuencias relativas y las acumuladas, puede observarse el predominio neto de los caudales bajos sobre los altos. Prueba de ello es que el 44,5% de los valores sea inferior a 2 l/seg, o que el 85,8% de los mismos lo sea de 5 l/seg.

Clase (l/seg)	nº casos	Frec. rel.	Frec. acum.
0-1	160	11,94%	11,94%
1-2	436	32,54%	44,48%
2-3	327	24,40%	68,88%
3-4	153	11,42%	80,30%
4-5	73	5,45%	85,75%
5-6	45	3,35%	89,10%
6-7	30	2,24%	91,34%
7-8	25	1,87%	93,21%
8-9	20	1,49%	94,70%
9-10	12	0,90%	95,60%
11-15	44	3,28%	98,88%
16-20	9	0,67%	99,55%
21-25	1	0,08%	99,63%
26-30	3	0,22%	99,85%
31-35	1	0,08%	99,93%
36-47	1	0,07%	100%

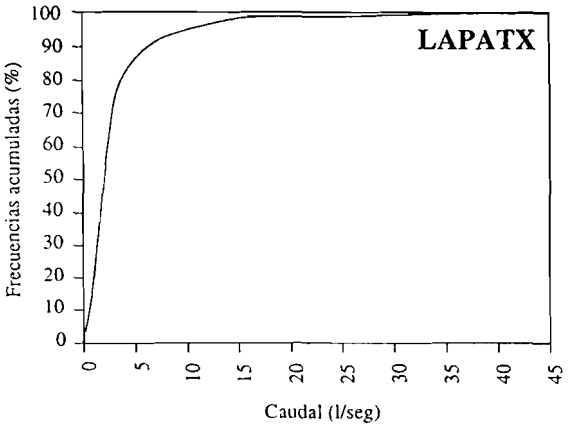


Tabla 4.15. Distribución de frecuencias de los caudales clasificados. Vertedero de Lapatx.
Figura 4.32. Caudales clasificados. Frecuencia acumulada versus caudal. Vertedero de Lapatx.

4.3. VERTEDERO DE GÓNGORA

4.3.1. ANTECEDENTES

Los caudales de lixiviados generados en este vertedero se han controlado desde el inicio de la explotación del mismo, en Junio de 1992. Para ello, se construyó una sala de medición y muestreo de importantes dimensiones en la que se encuentran situados los caudalímetros y demás equipos.

Durante los primeros meses de actividad del vertedero, prácticamente no se produjeron lixiviados en cantidades medibles. Este hecho junto con la sucesión de algunos problemas técnicos con los aparatos de medida durante estos primeros meses explican la ausencia de datos durante la segunda mitad de 1992.

Los datos de caudal utilizados, correspondientes a los años de 1993 y 1994, han sido suministrados en su totalidad por técnicos de "Servicios de la Comarca de Pamplona S.A.", responsables de la gestión de los distintos equipos de medida así como del muestreo y análisis de lixiviados.

4.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS INSTALADOS. VOLCADO DE DATOS Y TRATAMIENTO PREVIO DE LOS MISMOS

Características de los aparatos instalados

En la sala de medición se encuentran 2 caudalímetros registradores, marca HIDROLOGIC (modelo DPN 7/2), que registran mediante sondas los cambios de nivel y los traducen a valores de caudal.

Estos caudalímetros están emplazados sobre 2 canales "Venturi" por los que fluyen los lixiviados. El primero de ellos, modelo 1253 AY, está diseñado para poder medir en él con precisión los caudales comprendidos entre 0,26 y 4,97 l/seg. El segundo "Venturi", modelo 1253 D, situado en línea recta con el anterior y a unos 3 metros de distancia, está diseñado para la medición de caudales superiores, comprendidos entre 4,5 y 82 l/seg. Ambos caudalímetros realizan una medida cada minuto, almacenando el valor medido únicamente si es diferente al valor anterior.

Dentro de las instalaciones del CTRSU (Centro de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos) de Góngora también se dispone de una estación automática de registro en continuo de parámetros meteorológicos, modelo METEODATA-1256, de la marca GEONICA. Esta estación dispone de los siguientes canales: velocidad y dirección de viento, temperatura del aire, humedad relativa del aire, punto de rocío, evaporación y lluvia. La estación lee cada 2 segundos todos los parámetros y realiza los cálculos programados para cada canal de forma simultánea para 2 periodos de tiempo diferentes: periodo corto (10 minutos) y periodo largo (24 horas).

Volcado de datos y tratamiento previo de los mismos

La información almacenada en la memoria de los caudalímetros se traspasa periódicamente a ordenador mediante un terminal portátil PSION. Los ficheros así creados

presentan la peculiaridad de que contienen registros a intervalos no constantes de tiempo, lo que complica la obtención de valores medios.

Como datos de caudal diario medio se han considerado, salvo en el periodo comprendido entre el 6 de Octubre de 1993 y el 6 de Abril de 1994, los calculados por personal técnico de la empresa EINAR S.A., suministradora de los caudalímetros y del programa informático que permite la integración e interpretación de la información almacenada por los 2 caudalímetros.

En cambio, en el periodo especificado, al disponerse de los ficheros de partida, se ha optado por calcular los valores medios personalmente. Para ello, se ha utilizado un programa informático elaborado por el miembro del Grupo de Hidrogeología de la UPV/EHU, Dr. Iribar, que permite obtener ficheros con registros a intervalos constantes a elegir por el usuario a partir de ficheros con datos a intervalos variables. En este caso, la integración de la información de los 2 caudalímetros se ha realizado manualmente: cuando los valores de caudal eran inferiores a 4,5 l/seg se han utilizado los registrados por el caudalímetro 1, despreciando los registrados durante ese periodo por el segundo caudalímetro, y al revés cuando los caudales eran superiores a 4,5 l/seg.

En cuanto a la información almacenada por la estación METEODATA-1256 cabe decir que tras ser volcada es almacenada en el ordenador en ficheros diarios binarios y ASCII (mismo sistema de almacenamiento que en el caso de la estación HYDRODATA-1256 del vertedero de Lapatx). El nombre de los ficheros tiene el formato ya explicado en el apartado 4.2.3. Los datos de cada periodo promedio configuran dentro del fichero un registro con la información que se indica en la Tabla 4.16.

Columna	Parámetro	Unidades
1	Fecha	codificada
2	Hora	minutos
3	Velocidad viento	dm/s
4	V. viento máx.	dm/s
5	Sigma v. viento	dm/s
6	Dirección viento	grados
7	Sigma d. viento	grados
8	Temperatura media	décimas °C
9	Temperatura máxima	décimas °C
10	Temperatura mínima	décimas °C
11	Humedad relativa	%
12	Punto de rocío	décimas °C
13	Lluvia	décimas mm
14	Evaporación	centésimas mm
15	Batería	centésimas V
16	Auxiliar	décimas V

Tabla 4.16. Formato de los registros de los ficheros generados por la estación METEODATA-1256 (Góngora).

Las transformaciones de unidades necesarias, la eliminación de columnas sin utilidad (las que contienen valores mínimos y máximos) y la agrupación de ficheros de días correlativos, se ha realizado utilizando la hoja de cálculo EXCELL. Como norma, se han creado ficheros mensuales con información a intervalos de 10 minutos referente a los

siguientes parámetros: velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa y lluvia, además de las fecha (día-mes-año) y horas (hora:minutos) correspondientes. Posteriormente también se han calculado los valores medios horarios y diarios en las mismas hojas de cálculo.

4.3.3. ESTUDIO DE LOS HIDROGRAMAS

En este apartado se presenta la totalidad de la información disponible resultado del control efectuado durante 2 años (1993 y 1994) de las cantidades de lixiviados generados en el vertedero de Góngora. En base a esta información, y al igual que en el caso del vertedero de Lapatx, se comentan, en primer lugar, las características generales del hidrograma resultante y sus relaciones con las precipitaciones registradas en el mismo vertedero, para pasar luego a aspectos más concretos del estudio de los hidrogramas (formas de las crecidas-decrecidas, influencias de las precipitaciones en diferentes situaciones, caudales clasificados, análisis correlatorio-espectral, etc.). En este caso, no se han estudiado los agotamientos de los hidrogramas al no poderse diferenciar en los mismos curvas de agotamiento con tramos rectos bien definidos.

Así mismo, se comparan las conclusiones obtenidas de este estudio con las obtenidas del estudio efectuado sobre los hidrogramas de Lapatx al objeto de poner en evidencia semejanzas y diferencias entre las respuestas de estos 2 vertederos, situados en áreas climáticas diferentes, ante distintos eventos de precipitación.

Como información de partida se han utilizado valores de caudal medios diarios. No ha sido posible utilizar datos medios horarios, como en el caso de Lapatx, debido a la imposibilidad de obtener los ficheros originales de la mayor parte del periodo estudiado (sólo se ha dispuesto de los ficheros de partida del periodo 6 de Octubre de 1993 a 6 de Abril de 1994). Por causas de averías de los equipos de control, no existen datos referentes a 9 días, por lo que éstos han debido ser estimados. Los días en cuestión son: 31-7-93, 28 a 30-7-94, 4 a 6 y 12 y 13-11-94.

Los datos de precipitación considerados son acumulados diarios. Los periodos sin registro de la estación METEODATA-1256 instalada en el vertedero (Marzo y Abril de 1993 y Enero de 1994) han sido rellenados con los valores registrados por la estación automática situada en la granja de Ilundain, a escasos kilómetros de distancia del vertedero, gestionada por el Instituto del Suelo y Concentración Parcelaria de Navarra.

La utilización de datos diarios condiciona en gran medida las conclusiones a realizar, especialmente en lo que se refiere al estudio detallado de la forma de las crecidas-decrecidas, de la influencia de precipitaciones aisladas o de los caudales punta máximos alcanzados. Por ello, los comentarios referidos a estos aspectos deben ser considerados como de carácter general, siendo imprescindible partir de datos a intervalos menores (horarios como mínimo) para poder establecer conclusiones más específicas. Debe tenerse en cuenta también que, en este vertedero, las aguas utilizadas tanto en las instalaciones de reciclaje (lavado de plásticos en especial) como en el lavadero de camiones y oficinas van a parar a la red de drenaje de lixiviados, por lo que, en realidad, el caudal de lixiviados generado es menor que el registrado por los aparatos de control.

4.3.3.1. EVOLUCIÓN GENERAL DEL CAUDAL

En la Figura 4.33 se presenta la evolución general del caudal de lixiviados generado en el vertedero de Góngora y su relación con la precipitación caída en el mismo vertedero.

El estudio de esta gráfica permite realizar algunas observaciones:

- Las evoluciones de caudal están fuertemente condicionadas por las precipitaciones caídas sobre el vertedero. Incluso precipitaciones poco importantes provocan incrementos de caudal apreciables. Los desfases existentes entre las precipitaciones y los consiguientes aumentos de caudal son menores de un día, como en el caso de Lapatx.

- El caudal medio del periodo estudiado (calculado como media de los valores medios diarios existentes) es de 0,81 l/seg, claramente menor que el obtenido en Lapatx (3,16 l/seg). El caudal medio diario mínimo es de 0,01 l/seg., siendo el máximo de 23,68 l/seg. Como queda de manifiesto las variaciones de caudal son considerables.

- Los aumentos de caudal se producen muy rápidamente, siendo las curvas resultantes prácticamente verticales Las decrecidas también son muy rápidas, tanto como las crecidas, lo que muestra la escasa retención de las aguas infiltradas en el interior del vertedero.

- Puede observarse cómo los máximos caudales (mayor número de picos) suelen darse en los meses de Septiembre a Diciembre y en Abril, que son los meses más lluviosos históricamente (ver Figura 4.37). Por contra, los caudales más bajos y uniformes se concentran en los meses menos lluviosos (meses de Junio a Agosto).

En la Tabla 4.17 se presentan para los 24 meses con información disponible los valores medios de caudal, el rango de valores registrado, la cantidad total de lixiviados generados (aportaciones calculadas a partir de los valores medios) y las precipitaciones registradas en el vertedero. Tanto los valores medios mensuales como los rangos de caudal se han calculado a partir de los datos diarios de caudal. Los datos de precipitación son, lógicamente, acumulados mensuales.

De los caudales medios mensuales el menor es de 0,25 l/seg (Agosto-1994), siendo el mayor de 3,83 l/seg (Enero-1994). La media de los 24 valores mensuales medios toma el valor de 0,81 l/seg, mismo valor que el citado previamente, calculado como media de los datos medios diarios de todo el periodo controlado (en este caso no hay meses incompletos, como en el caso de Lapatx, por lo que en ambos casos se parte de la misma información).

En lo que se refiere a las aportaciones totales de lixiviados, el valor mínimo correspondiente es de 673 m^3, el medio de 2128 m^3 y el máximo de 10273 m^3. Queda patente, a nivel de valores de caudales medios mensuales y de aportaciones, la variabilidad existente, siendo los valores mayores unas 15 veces superiores a los menores. Los rangos de variación dentro de cada mes son mucho más elevados en ocasiones, especialmente en los meses lluviosos, en los que los valores máximos pueden ser de hasta más de 70 veces superiores a los inferiores.

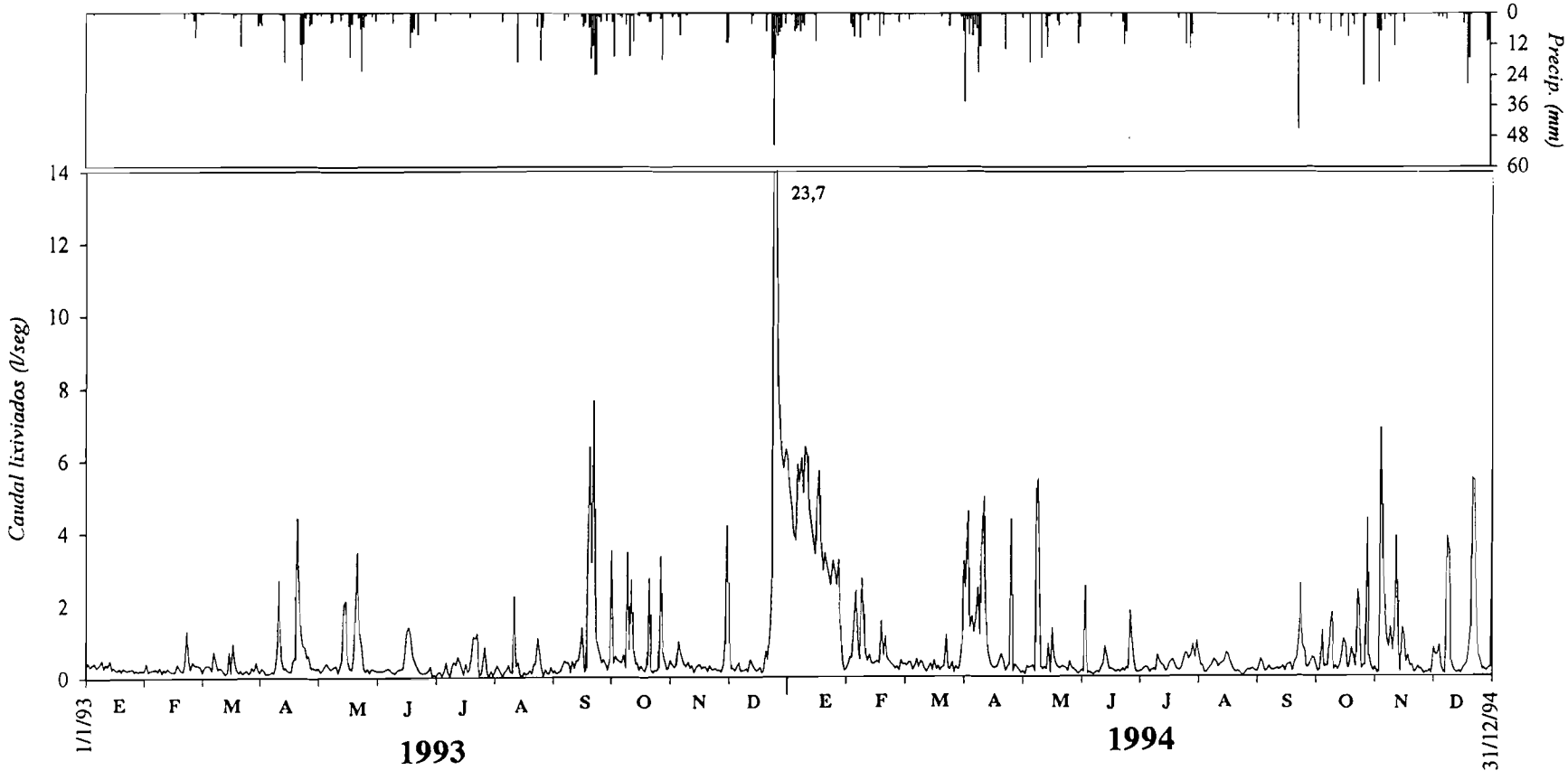


Figura 4.33. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica situada en el mismo vertedero. Periodo: Enero-1993/Diciembre-1994. Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

		1993	1994
ENERO	Qmedio (l/seg)	0,30	3,83
	Rango	0,17-0,52	0,18-6,38
	Aportaciones (m^3)	812	10.273
	Precipitación (mm)	2,8	47
FEBRERO	Qmedio (l/seg)	0,28	0,75
	Rango	0,13-1,32	0,17-2,75
	Aportaciones (m^3)	677	1.815
	Precipitación (mm)	15,8	53,8
MARZO	Qmedio (l/seg)	0,31	0,35
	Rango	0,10-0,97	0,12-1,17
	Aportaciones (m^3)	836	930
	Precipitación (mm)	18	10
ABRIL	Qmedio (l/seg)	0,65	1,34
	Rango	0,09-4,44	0,09-5
	Aportaciones (m^3)	1.678	3.488
	Precipitación (mm)	99	127,6
MAYO	Qmedio (l/seg)	0,62	0,61
	Rango	0,13-3,47	0,06-5,5
	Aportaciones (m^3)	1.674	1.640
	Precipitación (mm)	80,6	69,6
JUNIO	Qmedio (l/seg)	0,33	0,36
	Rango	0,11-1,40	0,05-2,50
	Aportaciones (m^3)	866	944
	Precipitación (mm)	43,8	41,8
JULIO	Qmedio (l/seg)	0,33	0,37
	Rango	0,01-1,23	0,09-1
	Aportaciones (m^3)	897	1.003
	Precipitación (mm)	7,6	37
AGOSTO	Qmedio (l/seg)	0,28	0,25
	Rango	0,01-2,26	0,03-0,65
	Aportaciones (m^3)	764	673
	Precipitación (mm)	53,4	0
SEPTIEMBRE	Qmedio (l/seg)	1,05	0,41
	Rango	0,09-7,67	0,12-2,60
	Aportaciones (m^3)	2.725	1.063
	Precipitación (mm)	109,5	60,6
OCTUBRE	Qmedio (l/seg)	0,83	0,72
	Rango	0,11-3,53	0,12-4,40
	Aportaciones (m^3)	2.214	1.935
	Precipitación (mm)	90,1	63,8
NOVIEMBRE	Qmedio (l/seg)	0,34	1,09
	Rango	0,12-1,12	0,05-6,9
	Aportaciones (m^3)	880	2.832
	Precipitación (mm)	26,6	64,2
DICIEMBRE	Qmedio (l/seg)	2,80	1,09
	Rango	0,12-23,68	0,07-5,5
	Aportaciones (m^3)	7.510	2.955
	Precipitación (mm)	136,4	80,2

Pp (mm)	Lix. (m^3)	MESES
0	673	Agosto.1994
2,8	812	Enero.1993
7,6	897	Julio.1993
10	930	Marzo.1994
15,8	677	Febrero.1993
18	836	Marzo.1993
26,6	880	Noviembre.1993
37	1.003	Julio.1994
41,8	944	Junio.1994
43,8	866	Junio.1993
47	10.273	Enero.1994
53,4	764	Agosto.1993
53,8	1.815	Febrero.1994
60,6	1.063	Septiembre.1994
63,8	1.935	Octubre.1994
64,2	2.832	Noviembre.1994
69,6	1.640	Mayo.1994
80,2	2.933	Diciembre.1994
80,6	1.674	Mayo.1993
90,1	2.214	Octubre.1993
99	1.678	Abril.1993
109,5	2.725	Septiembre.1993
127,6	3.488	Abril.1994
136,4	7.510	Diciembre.1993

Clase (l/seg)	nº casos	Frec. rel.	Frec. acum.
0-0,25	302	41,37	41,37
0,25-0,50	532	31,51	72,88
0,50-0,75	585	7,26	80,14
0-1	606	83,01%	83,01%
1-2	46	6,31%	89,32%
2-3	21	2,87%	92,19%
3-4	23	3,15%	95,34%
4-5	10	1,37%	96,71%
5-6	11	1,51%	98,22%
6-7	8	1,10%	99,32%
7-8	2	0,27%	99,59%
8-13	1	0,14%	99,73%
13-23	1	0,13%	99,86%
23-24	1	0,14%	100%

Tabla 4.17. (izquierda). Resumen mensual de caudales medios, rangos de caudales, volúmenes de lixiviados y precipitaciones. Vertedero de Góngora.
Tabla 4.18. (derecha, arriba). Relación precipitación-aportación de lixiviados a escala mensual. Vertedero de Góngora.
Tabla 4.19. (derecha, abajo). Distribución de frecuencias de los caudales clasificados. Vertedero de Góngora.

En esta tabla también se aprecia una relación general clara entre las aportaciones de lixiviados mensuales y las precipitaciones registradas en esos mismos meses. Analizando la evolución de las aportaciones registradas en cada mes a lo largo de los 2 años controlados se aprecia que hay una relación directa entre ambos parámetros (a mayores precipitaciones, mayores aportaciones y al revés) salvo en los meses de Marzo y Junio en los que ésto no se cumple por un escaso margen.

Esta relación directa entre precipitaciones-aportaciones a nivel mensual se hace menos evidente si consideramos la información conjuntamente. Así, presentando todos los meses ordenados según las precipitaciones ocurridas en los mismos (Tabla 4.18), vemos en la columna de las aportaciones correspondientes a esos meses que, aunque se tiende en líneas generales hacia valores cada vez mayores, aparecen casos en los que no se cumple la condición. Esto es debido a que la aportación de lixiviados registrada a lo largo de un mes también depende de las precipitaciones registradas en los últimos días del mes anterior, parte de las cuales tardan cierto tiempo en salir del vertedero. Este hecho explica, por ejemplo, que en Enero-1994, las aportaciones sean muy superiores a las que le tendrían que corresponder por las precipitaciones registradas en ese mes (en los 10 últimos días del mes anterior se registraron 111,4 mm de precipitación), o que en el mes de Marzo-1994 la aportación total sea algo superior a la de Marzo-1993 a pesar de ser la precipitación algo menor.

De todo esto se deduce que a la hora de realizar balances hídricos en este vertedero, en ocasiones no será correcto utilizar como unidad de tiempo el "mes" sino que será más conveniente utilizar como unidad un periodo de tiempo superior.

4.3.3.2. DESCRIPCIÓN DE HIDROGRAMAS

En las gráficas de las Figuras 4.34 a 36 se muestran la totalidad de los datos registrados por los equipos de control (valores medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación). Los meses representados en cada figura son:

Figura 4.34. Enero.Abril-1993 (arriba) y Mayo.Agosto-1993 (abajo).
Figura 4.35. Septiembre.Diciembre-1993 (arriba) y Enero.Abril-1994 (abajo).
Figura 4.36. Mayo.Agosto-1994 (arriba) y Septiembre.Diciembre-1994 (abajo).

Relaciones precipitación-caudal

A la vista de todas estas figuras pueden hacerse diversas observaciones:

- Durante el periodo controlado, en este vertedero se han generado cantidades muy limitadas de lixiviados. En ausencia de lluvias durante varios días, independientemente del mes en el que nos encontremos, los caudales de base no sobrepasan los 0,5 l/seg.

- Pequeñas precipitaciones, del orden de 2-5 mm, pueden provocar aumentos de caudal distinguibles en el hidrograma (de menos de 0,5 l/seg de incremento) aunque no siempre. Ejemplos en los que se producen aumentos son los registrados los días 20-7-93 (tras 2 mm de lluvia) y 5 y 16-10-94 (tras 4,6 y 5,4 mm de lluvia respectivamente). En cambio, el 10-6-93 no se produce aumento apreciable del caudal tras la lluvia de 4,2 mm.

Esta variedad de comportamientos debe estar sin duda condicionada por las intensidades de las precipitaciones, es decir, por su distribución en el tiempo, además de por el caudal base existente en el momento de producirse las precipitaciones. Así, lluvias intensas no muy importantes pueden provocar en ocasiones incrementos que no provocan otras lluvias mayores pero de intensidades menores. El hecho de no disponer de los datos de lluvias en periodos menores impide profundizar en estos aspectos.

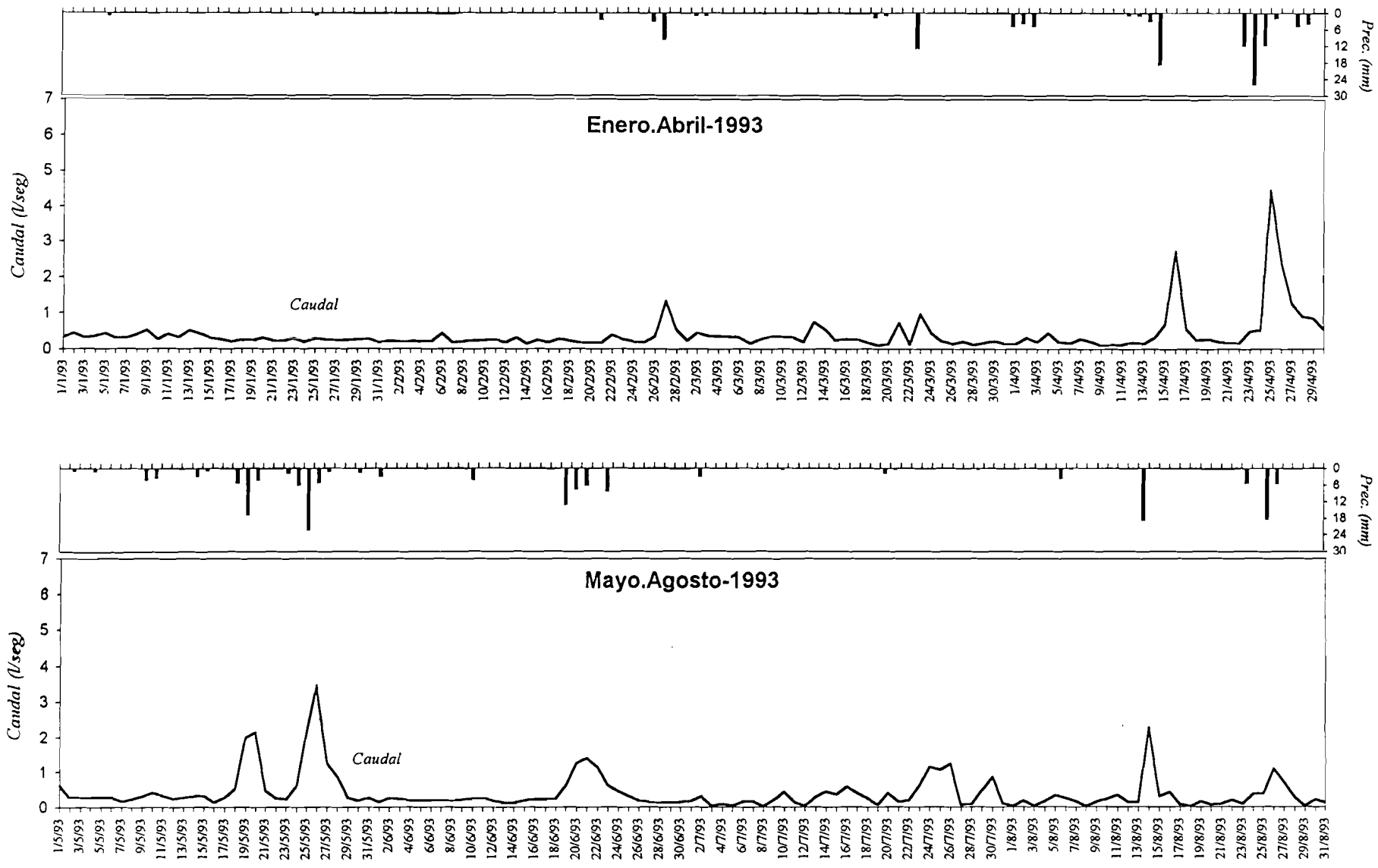


Figura 4.34. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora. Meses de Enero.Abril-1993 (arriba) y Mayo.Agosto-1993 (abajo). Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

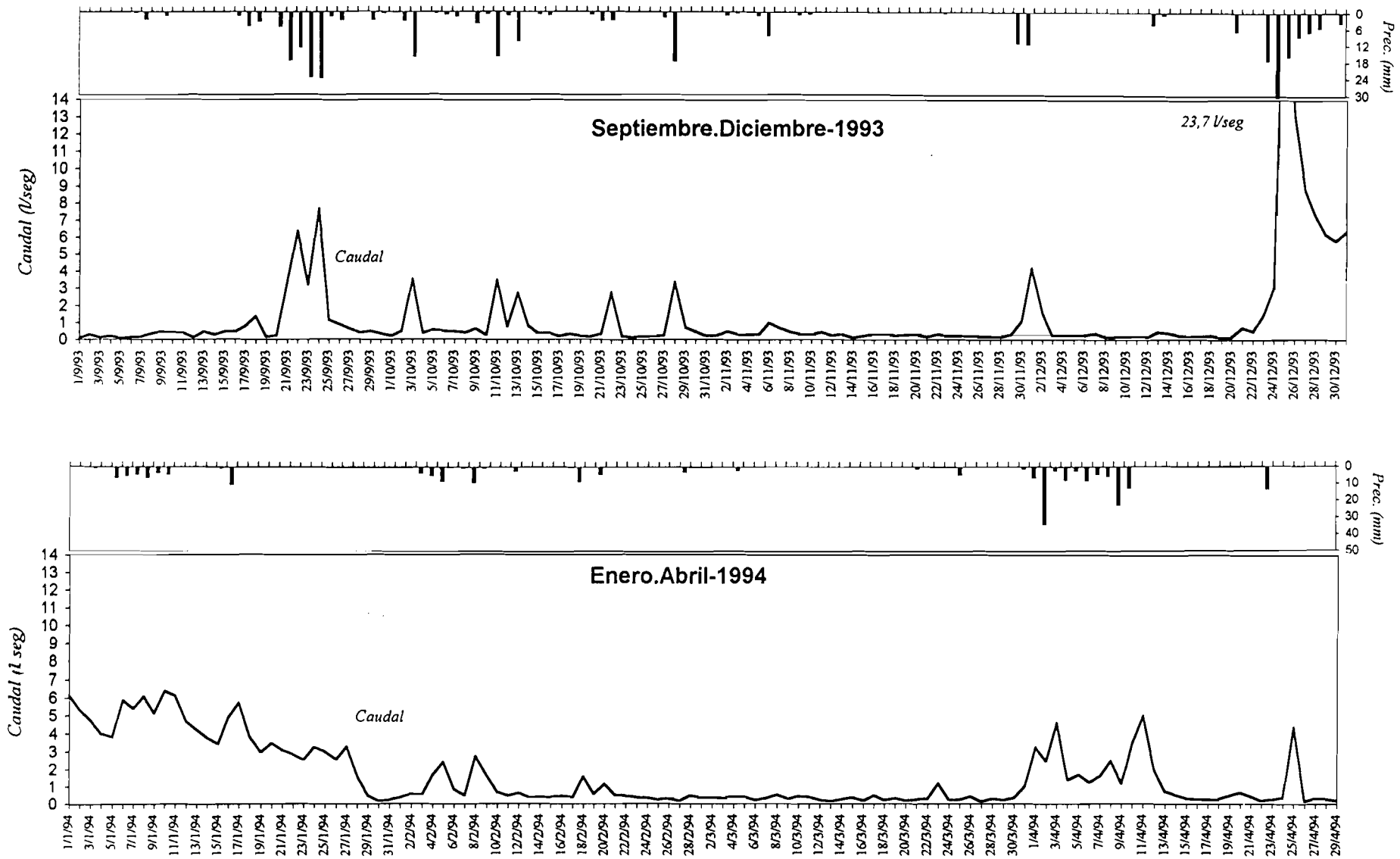


Figura 4.35. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora. Meses de Septiembre.Diciembre-1993 (arriba) y Enero.Abril-1994 (abajo). Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

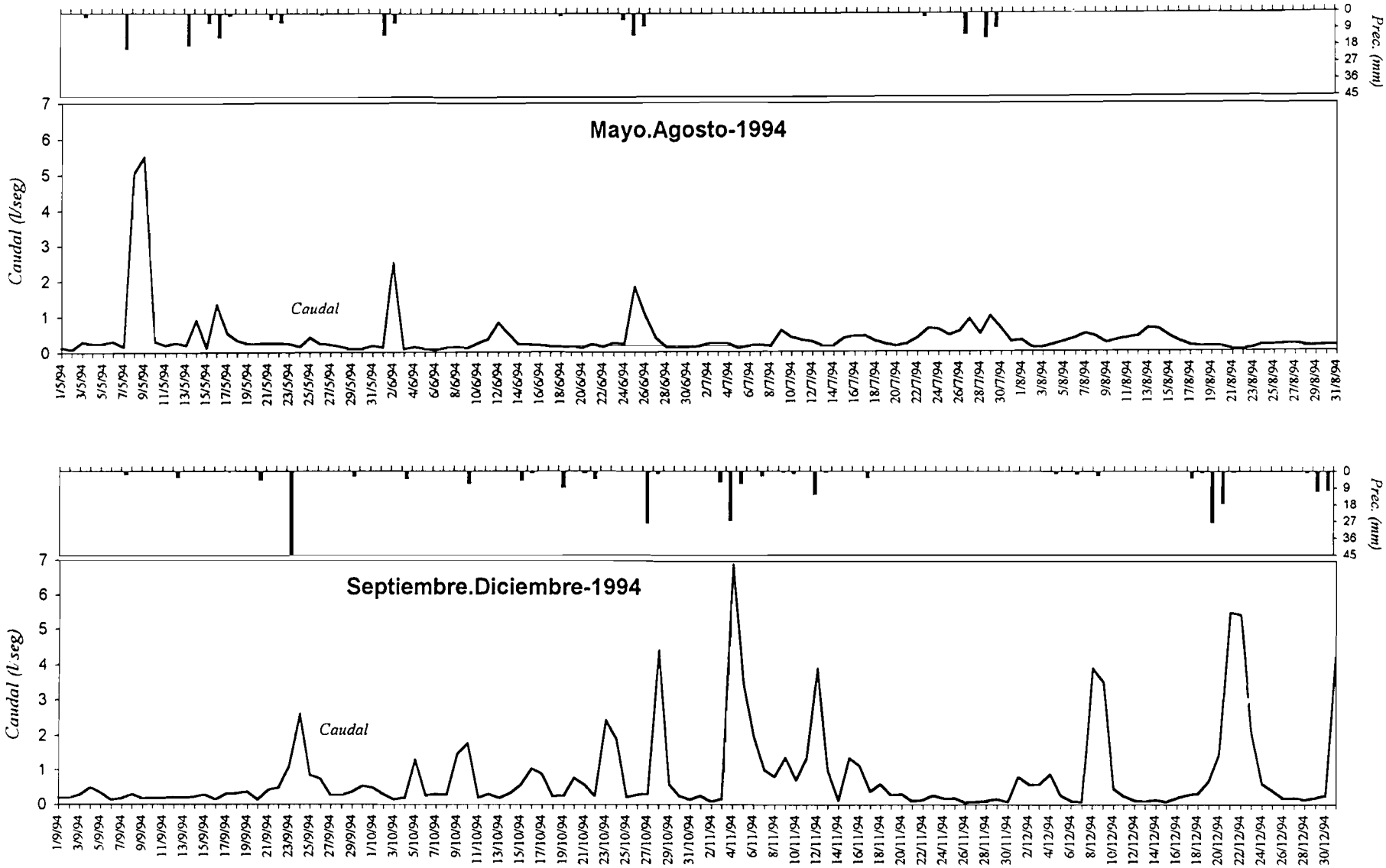


Figura 4.36. Evolución del caudal de lixiviados generados en el vertedero de Góngora. Meses de Mayo.Agosto-1994 (arriba) y Septiembre.Diciembre-1994 (abajo). Datos medios diarios de caudal y acumulados diarios de precipitación.

Por otra parte, también se observan algunos pequeños picos (de importancia similar a los comentados) que no están asociados a ninguna precipitación (13-3-93, 24 a 26-7-93, 12-6-94, 9-7-94, 7 y 13-8-94, 1 y 4-12-94), lo que hace dudar en parte de la calidad de los datos de caudal existentes (los datos de precipitación se consideran más fiables). Por todo ello, estas observaciones deben considerarse como orientativas ante estudios posteriores.

- Los aumentos de caudal se producen muy rápidamente, presentando las curvas de crecida una gran pendiente. Las decrecidas también son muy rápidas, tanto como las crecidas. Las precipitaciones aisladas importantes dan lugar a picos totalmente simétricos, como los que pueden observarse en los días 14-8-93, 25-4-94 y 28-10-94. Esta forma de los picos pone en evidencia la importancia de la infiltración rápida de gran parte de las aguas de lluvia a

través de los materiales depositados en el vertedero, que poseen una muy alta permeabilidad (fracción orgánica de residuos urbanos fundamentalmente). La posible existencia de vías preferenciales dentro del mismo, comentada en el capítulo 3, también ayudaría a explicar este tipo de respuestas.

- Los desfases entre las lluvias y los aumentos de caudal son a lo sumo de 1 día, aunque muy posiblemente, si tuviésemos datos a intervalos menores, se viese que estos desfases son mucho menores, del orden de horas.

- La influencia de las precipitaciones que dan lugar a crecidas aisladas desaparece por término medio 1 día después de haberse producido el pico de caudal, es decir, los caudales drenados por el vertedero vuelven a ser los mismos que antes de que se produjese la crecida.

- Cuando las precipitaciones no son aisladas sino que se producen, por ejemplo, a lo largo de 3 o más días, los hidrogramas resultantes presentan algunas diferencias. En algunos casos los picos pueden presentar formas más abombadas (días 18 a 24-6-93) si las precipitaciones se distribuyen de forma más o menos homogénea durante el periodo considerado, mientras que en otros casos los picos aparecen sin punta, si dentro del periodo lluvioso hay un día con valores de precipitación netamente superior al resto de días (pico producido entre el 18 y 21-5-93). Estos picos aparecen partidos por el hecho de representar valores medios diarios y no a intervalos menores.

En casos de precipitaciones continuadas, las influencias de éstas sobre los caudales dependen fundamentalmente de las cantidades de lluvia total registrada. En 2 casos, los caudales vuelven a tomar sus valores previos a los 3-4 días después de que cesen las precipitaciones (tras el periodo 19 al 25-9-93, en el que llueve 89,4 mm, y tras el periodo del 1 al 11-4-94, en el que llueve 111,4 mm). En cambio, los caudales tardan mucho más tiempo en volver a alcanzar sus valores iniciales tras las precipitaciones consecutivas que se producen durante los últimos días de Diciembre-1993 y los primeros de Enero de 1994 (en conjunto, las lluvias alcanzan la cifra de 158,4 mm). En este caso, hasta 13 días después de producirse la última lluvia, los caudales aparecen influenciados por las mismas.

Debido a que existen algunas dudas sobre la validez de estos datos de caudal, especialmente de los comprendidos entre los días 5 y 25 de Enero de 1994 (no parece muy normal la evolución de caudales entre los días 19 y 29-1-94, con pequeños aumentos de

caudal sin que se produzcan nuevas precipitaciones, seguidos por un descenso brusco del caudal a partir del día 27), sería necesario seguir estudiando el comportamiento de los caudales en otros periodos tan lluviosos como el referido al objeto de refrendar estas observaciones.

Diferencias y semejanzas entre los hidrogramas de Lapatx y Góngora

La comparación de los hidrogramas obtenidos en los vertederos de Lapatx y Góngora permite poner de manifiesto las diferencias y semejanzas básicas existentes entre ambos vertederos en lo que se refiere a la forma de las respuestas de los mismos ante las precipitaciones:

- En ambos casos se aprecia la clara dependencia de la evolución de los caudales con las precipitaciones registradas, produciéndose aumentos significativos de caudal a lo largo de los mismos días en que tienen lugar las precipitaciones. Se deduce, por tanto, que los tiempos de respuesta son muy cortos (menos de un día) para eventos de precipitación no excesivamente importantes. En el caso de Lapatx, en el que se dispone de datos a intervalos horarios, el desfase entre los comienzos de las precipitaciones y de los aumentos de caudal es de tan sólo unas 2 horas.

- En Góngora, precipitaciones del orden de 2-5 mm generan normalmente incrementos de caudal distinguibles en los hidrogramas, mientras que en Lapatx son necesarios, en general, precipitaciones superiores a 8-10 mm para provocar aumentos de caudal. Esta diferencia se debe fundamentalmente a los diferentes caudales de base existentes en ambos vertederos, claramente inferiores en Góngora en comparación a los de Lapatx.

- Los aumentos de caudal se producen muy rápidamente en ambos vertederos (curvas casi verticales). En cambio, las curvas de decrecida presentan diferencias. Mientras que en Góngora son también prácticamente verticales, lo que indica un predominio neto del flujo rápido en el vertedero, en Lapatx estas curvas son menos pronunciadas debido a la importancia que adquiere la componente lenta de la infiltración. Queda patente la diferencia entre el comportamiento del agua infiltrada en el interior de ambos vertederos.

- Las variaciones de caudal son muy importantes en ambos vertederos, aunque en el caso de Lapatx éstas son más evidentes. Los caudales generados son claramente superiores en el vertedero de Lapatx que en el de Góngora. El caudal medio en Lapatx es de 3,16 l/seg (54 m^3/ha día, considerando 5 ha como área generadora de lixiviados) mientras que en Góngora es de 0,81 l/seg (30 m^3/ha día, considerando 2,3 ha como área generadora de lixiviados). Los caudales punta también son muy superiores (> 44 l/seg por < 24 l/seg en Góngora) al igual que los caudales de base.

- La amplitud de los periodos en los cuales los caudales se mantienen influenciados por las precipitaciones también es diferente en ambos vertederos. Para el caso de precipitaciones aisladas en Lapatx, las influencias de las precipitaciones desaparecen por término medio a los 2-3 días de haberse producido el pico de caudal, es decir, los caudales drenados por el vertedero vuelven a ser los mismos que antes de que se produjese la crecida, mientras que en Góngora las influencias desaparecen normalmente al día siguiente.

La influencia de series de precipitaciones sucedidas a lo largo de periodos más o menos largos, más de 4-5 días en los que llueve de forma continuada seguidos por periodos también más o menos largos sin lluvias, se comprueba que depende en ambos vertederos, por una parte, y como es lógico, de la cantidad de agua precipitada, y por otra, del caudal base inicial. Así, cuanto mayor sea este último, menor será la influencia de las precipitaciones en el hidrograma.

El número de días influenciados por estos eventos de precipitación varía en Lapatx entre 11 y 26 días para precipitaciones comprendidas entre 60 y 298 mm, mientras que en Góngora rondan los 3-4 días para precipitaciones comprendidas entre 89 y 111 mm, si bien en un caso se mantienen durante 13 días para un precipitación acumulada de 158 mm.

De todos estos comentarios se deduce que en ambos vertederos se produce una rápida infiltración de las aguas de precipitación a través de los materiales depositados así como una rápida evacuación de las mismas, especialmente en el caso de Góngora. Esta mayor velocidad de infiltración en Góngora puede estar relacionada con el hecho de que en dicho vertedero los residuos vertidos son mayoritariamente de tipo orgánico (alta permeabilidad), mientras que en Lapatx también se vierten cantidades importantes de escorias y residuos industriales inertes (de permeabilidad menor).

Las razones de las diferencias en las magnitudes de los caudales generados en ambos vertederos hay que buscarlas principalmente en los diferentes regímenes pluviométricos (Figura 4.37), diferentes precipitaciones eficaces, existentes en las áreas geográficas en las que se encuentran (en el interior de Gipuzkoa el de Lapatx y cerca de Pamplona-Iruña el de Góngora).

En esta figura se representan las evoluciones de las precipitaciones anuales así como las distribuciones de las mismas, en base a datos medios mensuales, para las 2 estaciones más cercanas a los vertederos estudiados con series largas de datos. Estas estaciones son las de Azkoitia-Iberdrola (con registros desde 1977), situada a unos 3 km de distancia del vertedero de Lapatx y que es gestionada por el Centro Meteorológico Territorial del País Vasco (Instituto Nacional de Meteorología), y la de Ilundain (con registros desde 1980), también situada a escasos kilómetros del vertedero de Góngora y gestionada por el Instituto del Suelo y Concentración Parcelaria del Gobierno de Navarra.

Como se observa, mientras que la distribución mensual de la precipitación es relativamente similar en ambas estaciones (distribución similar entre los meses Abril y Noviembre), las cantidades registradas totales son muy diferentes. Mientras que la media anual en la estación de Azkoitia es de 1475 mm, en la de Ilundain es 818 mm, esto es, 657 mm menos de media al año. Este hecho es el que condiciona fundamentalmente la generación de lixiviados en el vertedero de Góngora. Además, debe tenerse en cuenta que la evapotranspiración es superior en Góngora que en Lapatx al ser, en el primer lugar, el número de horas de sol y las temperaturas medias netamente superiores, lo cual hace que la cantidad de agua susceptible de infiltrarse en el vertedero de Góngora sea todavía menor.

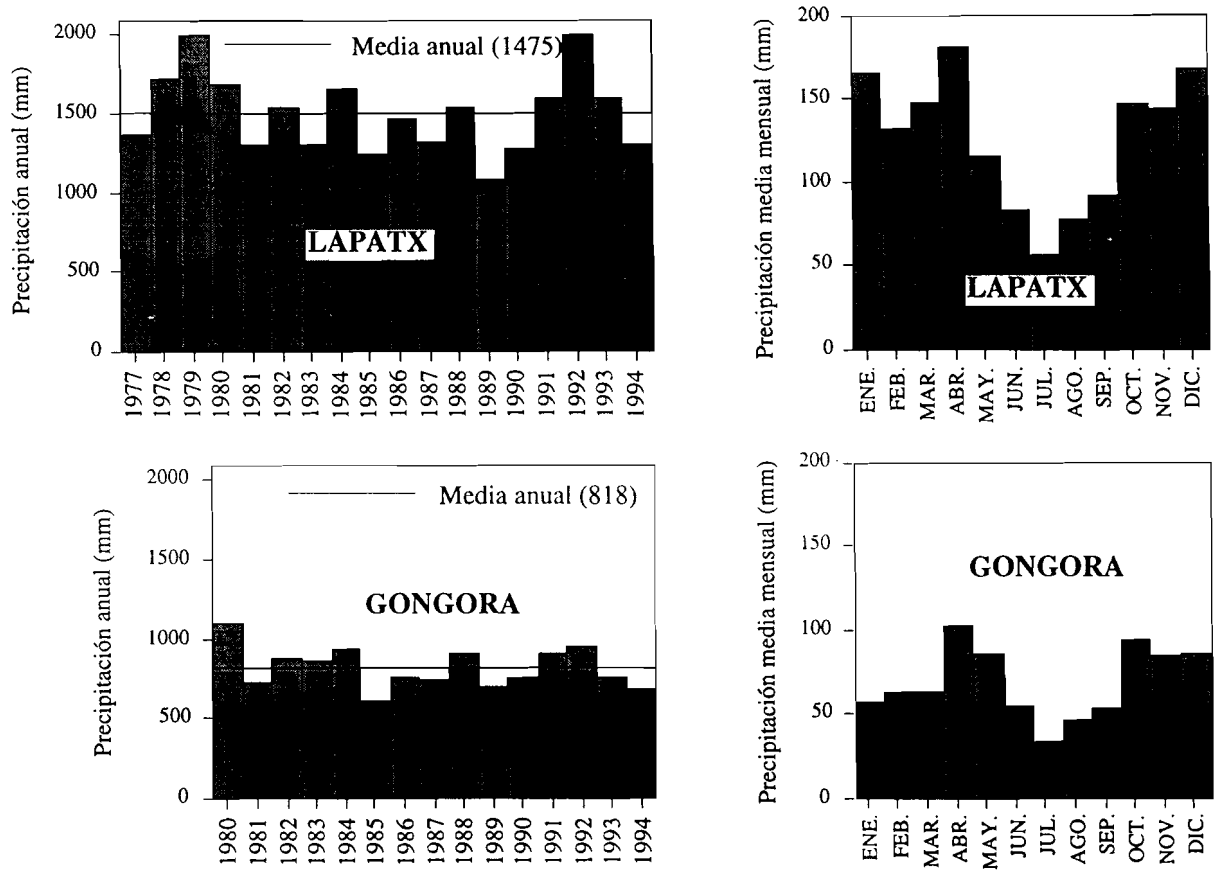


Figura 4.37. Evolución anual de la precipitación y distribución mensual de la misma en las estaciones más cercanas a los vertederos de Lapatx y Góngora (Azkoitia-Iberdrola e Ilundain respectivamente. Periodos: 1977-1994 y 1980-1994).

4.3.3.3. ANÁLISIS CORRELATORIO Y ESPECTRAL

El análisis se ha realizado sobre series cronológicas de precipitación y caudales de lixiviados para un periodo de 1 año hidrológico (del 1-9-1993 a 31-8-1994). Tanto los datos de partida como los resultados numéricos de este análisis pueden consultarse en los anexos 4.2 y 4.3.

Los datos de caudal de lixiviados utilizados son valores diarios calculados como medias de los registrados a lo largo de cada día por los caudalímetros instalados en la arqueta de control. Como datos de precipitación se han utilizado los valores acumulados diarios registrados por la estación METEODATA-1256, situada en el mismo vertedero de Góngora. Los escasos huecos existentes en este periodo se han rellenado con los valores registrados en la estación de Ilundain.

Se comentan en primer lugar los resultados relativos a las precipitaciones, por constituir la función de entrada, para pasar después a comentar los resultados de las crónicas de caudales. Las representaciones gráficas de las funciones calculadas se presentan conjuntamente en la Figura 4.38.

Análisis de la función de entrada

Los correlogramas ponen de manifiesto el carácter prácticamente aleatorio de las

precipitaciones. El efecto memoria (r=0,1-0,2) rondan los 1-3 días.

El espectro, por su parte, muestra picos en determinadas frecuencias, especialmente en el dominio de las bajas frecuencias. Así, aparecen picos que corresponden a ciclicidades de 50, 19,2, 12, 8,3, 7 y 5,8 días. También se manifiesta una cierta tendencia anual, evidenciada por el alto valor que toma el espectro en las frecuencias más bajas.

Análisis de la función de salida (caudales)

El correlograma simple muestra un decrecimiento relativamente rápido en el que sólo se aprecia un pequeño pico (K=24). El efecto memoria es de 17-25.

En el espectro de densidad de varianza se pueden observar varios picos en los dominios de las bajas frecuencias aunque sólo 2 de ellos se corresponden (los de 8,3 y 5,8 días) con los picos presentes en los espectros de las precipitaciones (en los ACE efectuados en el vertedero de Lapatx era normal que coincidieran todos). También evidencian los buenos filtrajes para precipitaciones producidas en periodos inferiores a 5,5 días (el valor de Fc es de 0,18). Por otra parte, el tiempo de regulación es bastante corto, de 11,3 días. Estos resultados también ponen en evidencia el escaso efecto general modulador y de filtro de la información de entrada que ocasiona este sistema.

El correlograma cruzado es estrecho y puntiagudo, poniendo en evidencian una respuesta muy rápida del sistema. No aparecen picos secundarios de importancia que confieran al correlograma cruzado un carácter cíclico.

La función de amplitud cruzada (FAC) muestra los buenos filtrajes de las lluvias para frecuencias mayores de 0,18, es decir, para periodos inferiores a 5,5 días. En el dominio de las bajas y medias frecuencias se observa la mayor parte de los picos que aparecían en el espectro de las precipitaciones. La FGA muestra las notables amplificaciones que experimentan las precipitaciones correspondientes a periodos superiores a 55 días (frecuencia menor de 0,018). La FFA expresan buena regularidad entrada-salida en los dominios de las bajas y medias frecuencias. Para frecuencias mayores (f >0,22), esta relación se hace más irregular. FCO indica coherencia del sistema para las bajas y medias frecuencias, pero claras rupturas en las altas (coincidiendo también con el valor de f citado).

Conclusiones

En general, puede decirse que se observa congruencia en las informaciones suministradas por el análisis correlatorio y espectral. El vertedero de Góngora puede considerarse, al igual que el de Lapatx, como un sistema poco inercial. El efecto modulador y de filtraje de la información de entrada que se produce en este sistema es también escaso.

4.3.3.4. CAUDALES CLASIFICADOS

La curva de distribución de frecuencias acumuladas de caudales (Figura 4.39) se ha confeccionado considerando la totalidad de la información disponible referente a los 2 años controlados. En conjunto, se han tenido en cuenta 760 datos de caudales medios diarios.

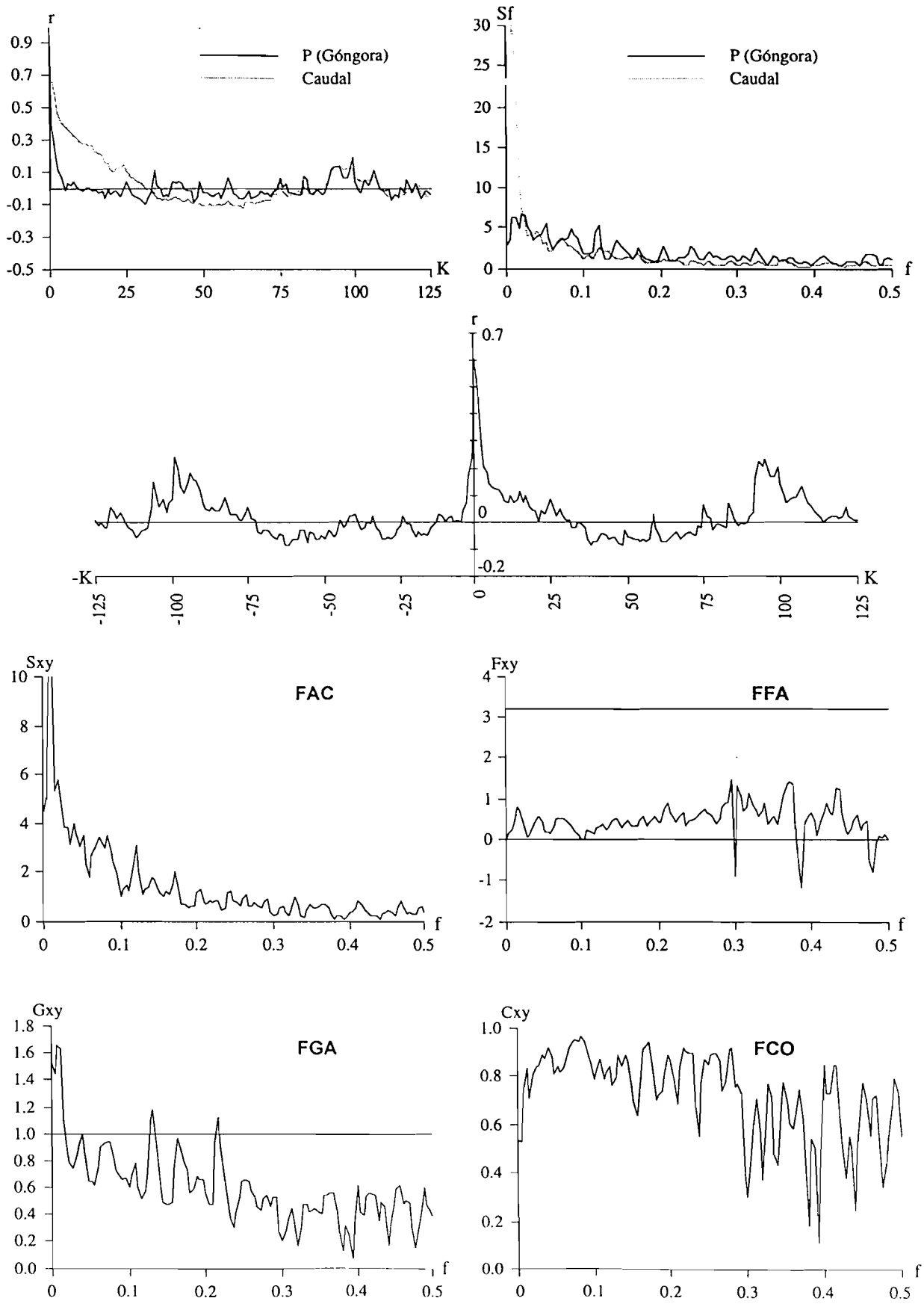


Figura 4.38. Resultados del Análisis correlatorio y espectral. Vertedero de Góngora.

En esta curva de distribución, así como en la Tabla 4.19, en la que se exponen los intervalos de clase en los que se han agrupado los caudales, las frecuencias relativas y las acumuladas, puede observarse el predominio neto de los caudales especialmente bajos sobre los altos. El 41,47% de los valores es inferior a 0,25 l/seg y el 80,14% de los mismos lo es de 0,75 l/seg.

Comparando estos valores con los que se muestran en la Tabla 4.15, correspondiente a los caudales del vertedero de Lapatx, puede apreciarse la gran diferencia entre las magnitudes de los caudales de ambos vertederos. En Lapatx únicamente el 11,94% de los valores son inferiores a 1 l/seg mientras que en Góngora lo son el 83,01%.

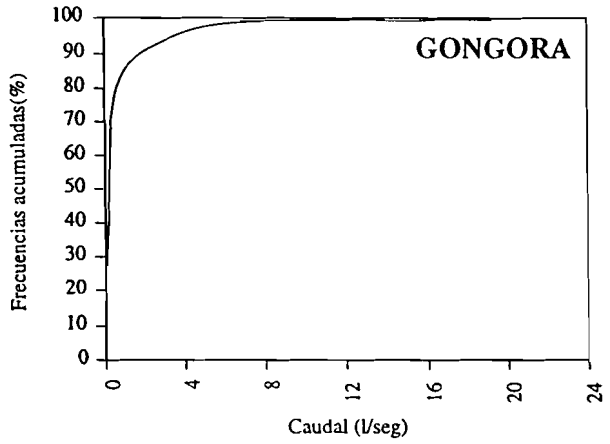


Figura 4.39. Caudales clasificados. Frecuencia acumulada versus cauda. Vertedero de Góngora.

4.4. VERTEDERO DE SAN MARCOS

4.4.1. ANTECEDENTES

El control de los caudales de lixiviados generados en el vertedero de San Marcos se planteó a mediados de 1993 como una de las últimas mejoras a realizar en cuanto a la gestión del mismo. A tal efecto, la Mancomunidad de San Marcos, responsable de la gestión del vertedero, encargó al Dpto. de Medio Ambiente y Química de los laboratorios LABEIN el diseño de las instalaciones apropiadas para el control del caudal y de las características físico-químicas de los lixiviados generados. La instalación del aforador en la parte final del sistema de drenaje de lixiviados del vertedero también fue realizada por personal técnico de dichos laboratorios.

Una vez terminadas las diversas obras, finales de diciembre de 1993, se procedió a la instalación por parte del Grupo de Hidrogeología de la U.P.V/E.H.U. de una estación de registro tipo HYDRODATA-1256 para el control de parámetros físico-químicos.

Posteriormente, el 29 de Marzo de 1994 se instala un caudalímetro ZULLIG, lo que permite completar el equipo de medida (no se dispone de registros entre los días 8-3-94 y 29-3-94 debido a una avería de la estación). Los datos medidos por este caudalímetro se almacenaban en un canal auxiliar disponible en la estación automática HYDRODATA-1256.

El equipo estuvo activo hasta el día 20 de Mayo de 1994, fecha en la que fue sustituido por otro equipo, de iguales características, propiedad de la Mancomunidad de San Marcos, el cual desgraciadamente se averió pocos días después debido a la caída de un rayo. Distintos problemas de tipo técnico impidieron la instalación posterior de los aparatos de medida. En un futuro inmediato se tiene pensado instalar de nuevo el equipo de control.

La información disponible, a pesar de no ser abundante, se presenta y se interpreta en su totalidad dado el interés de la misma.

4.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS INSTALADOS. VOLCADO DE DATOS Y TRATAMIENTO PREVIO DE LOS MISMOS. PROBLEMAS SURGIDOS

Características de los aparatos instalados

El caudalímetro instalado en este vertedero es de la misma marca y características que el instalado en el vertedero de Lapatx (caudalímetro ZULLIG con una sonda ultrasónica Echolot HT-D y de un amplificador EA-94 (ver apartado 4.2.2.1).

La estación automática de registro en continuo de parámetros de calidad de las aguas también es del modelo HYDRODATA-1256, de la marca GEONICA, como la instalada en Lapatx. En este caso, además de sensores de temperatura, pH, conductividad y de un canal libre para recibir la señal emitida por el caudalímetro ZULLIG, dispone de sensores de potencial redox y oxígeno disuelto.

La unidad va muestreando todas las señales de modo secuencial, midiendo sus valores instantáneos y calculando los máximos, mínimos y medios periódicamente, a intervalos de tiempo programable. En este caso, también se ha trabajado con registros a intervalos de 10 minutos, calculados a su vez como medias de valores muestreados cada 30 segundos.

Características de los sensores

La estación instalada cuenta, como ya se ha comentado, con 5 sensores diferentes:

- Oxígeno disuelto: Célula galvánica hecha con electrodos de Pt y Pb apareados. El sensor está compensado en temperatura para eliminar los efectos de cambio de difusión en la membrana y actividad del oxígeno. El sensor viene con un agitador ("stirrer") para mantener constante el flujo de la muestra a través de la superficie de la membrana.

- Potencial redox: Electrodo de potencial de óxido-reducción combinado con electrodo de referencia de Ag-ClAg saturado.

- Los sensores de temperatura, pH y conductividad son idénticos a los de la estación del vertedero de Lapatx. Sus características se describen en el apartado 4.2.2.2.

Volcado de datos y tratamiento previo de los mismos

El volcado periódico de los datos registrados se realizaba exactamente de la misma forma que en el caso del equipo instalado en el vertedero de Lapatx (ver 4.2.3).

Los datos recibidos de la Unidad de Recuperación de datos también son almacenados en

el ordenador en ficheros diarios binarios y ASCII. El nombre de los ficheros tiene el formato ya explicado en el apartado 4.2.3.

Los datos de cada periodo promedio configuran dentro del fichero un registro con la forma siguiente:

Columna	Parámetro	Unidades
1	Fecha	codificada
2	Hora	minutos
3	Temperatura media	décimas °C
4	Temperatura máxima	décimas °C
5	Temperatura mínima	décimas °C
6	Conductividad media	centésimas mS
7	Conductividad máxima	centésimas mS
8	Conductividad corr. media	centésimas mS
9	Conductividad corr. máxima	centésimas mS
10	pH media	centésimas pH
11	pH máxima	centésimas pH
12	pH mínima	centésimas pH
13	Oxígeno disuelto media	centésimas ppm
14	Oxígeno disuelto máxima	centésimas ppm
15	Redox	mV
16	Auxiliar (Caudal)	décimas V

Tabla 4.20. Formato de los registros de los ficheros generados por la estación HYDRODATA-1256 (San Marcos).

Con vistas a realizar las transformaciones de unidades necesarias, calcular los caudales correspondientes a las alturas obtenidas, eliminar columnas sin utilidad (las que contienen valores mínimos y máximos) y agrupar información de ficheros de días correlativos, se ha aplicado un programa informático, diferente al aplicado en el caso de la estación de Lapatx, diseñado también para este fin por técnicos del Dpto. de Medio Ambiente y Química de los laboratorios LABEIN. Como norma general, se ha aplicado este programa a los ficheros ASCII de cada mes de forma conjunta.

Los ficheros mensuales resultantes contienen información a intervalos de 10 minutos referente a los siguientes parámetros: temperatura, conductividad eléctrica, conductividad eléctrica corregida, pH, oxígeno disuelto, potencial redox, altura y caudal, además de la fecha (día-mes-año) y hora (hora:minutos) correspondiente.

Posteriormente también se han calculado los valores medios horarios y diarios a partir de los ficheros anteriores por aplicación de otro programa escrito en lenguaje DBASE III Plus. El listado de este programa (MHIDRMED.prg) y las estructuras de los ficheros resultantes (MHIDRPRE.dbf, MHIDRHOR.dbf y MHIDRDIA.dbf) se presentan en el Anexo 4.1.4.

Problemas surgidos

Han sido varios los problemas que han condicionado la instalación de los equipos y su posterior mantenimiento. Entre ellos cabe destacar:

- El peligro existente en las instalaciones de control (arqueta de grandes dimensiones, de unos 2 m de alto por 5 de largo) como consecuencia de la acumulación de metano. Este peligro

obligaba a tomar serias precauciones como eran las de realizar los distintos trabajos en compañía de 1 o 2 personas más, airear la arqueta con tiempo suficiente (con un par de horas de antelación), y utilizar equipos autónomos de respiración siempre que se entrara a la arqueta. Estas precauciones, lógicamente, condicionaron el ritmo de los trabajos realizados (instalación de los aparatos, pruebas de funcionamiento, limpieza de sensores, etc.) dado que era necesario contar siempre con la presencia de personal de la empresa gestora del vertedero (Fomento de Construcciones y Contratas) de la que se obtuvo la máxima colaboración.

- Otro tipo de problemas han sido los que han afectado a la calidad de los datos registrados por los sensores. Cabe destacar, entre ellos, el arrastre de los sensores debido a la fuerza de la corriente en periodos con caudales altos. Tras pasar la punta de caudal, los sensores quedaban varios metros desplazados del lugar inicial, sobre la tubería de lixiviados, pero fuera de la arqueta de control. Este problema quedó solucionado con la instalación de una estructura en la que se colocaban los sensores y que posteriormente era fijada sobre el canal por el que circulaban los lixiviados tras pasar por el aforador Parshall donde se medía el caudal.

La gran cantidad de partículas sólidas y espumas arrastradas por los lixiviados también ha ocasionado serios problemas al producir en varias ocasiones el taponamiento completo del orificio del sensor de conductividad así como de las zonas sensibles de los sensores de pH, redox y oxígeno disuelto, al mismo tiempo que complicaba sobre manera las labores de limpieza dada la especial incrustación de las partículas sobre los sensores y el especial mal olor que originaban.

Las excepcionales condiciones en las que se llevaban a cabo las labores de mantenimiento también impidieron que pudieran realizarse todas las calibraciones de los sensores que hubiesen sido necesarias. Todo esto hace que la calidad de los valores obtenidos sea sensiblemente inferior, por ejemplo, a la obtenida en el vertedero de Lapatx, donde los problemas no eran tan importantes, y que los datos que se presentan a continuación no puedan ser considerados como precisos sino, más bien, como valores de referencia que deberían ser contrastados con los registrados en un futuro inmediato.

Por otra parte, el registro de valores de altura de lámina de agua, datos a partir de los cuales se obtiene el caudal tras aplicar la curva de gastos del aforador Parshall, también se ve afectado por problemas de sedimentación de sólidos sobre la superficie del aforador Parshall (el día 22-4-94 se observa un ligero descenso del caudal tras proceder a limpiar el aforador), por la caída de rayos (este fenómeno provocó la avería del último equipo instalado), cortes de suministro eléctrico, así como por algunos fallos de registro por parte de los aparatos de control (picos negativos, aislados, de caudal).

4.4.3. ESTUDIO DE LOS HIDROGRAMAS Y DE LAS EVOLUCIONES DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Tanto las evoluciones de los caudales como de los parámetros físico-químicos controlados se presentan en las Figuras 4.40 y 4.41, realizas ambas a partir de valores horarios calculados como valores medios de los registros almacenados cada 10 minutos por los equipos de control. En la primera de las figuras no aparecen datos de caudal dado que en el periodo a la que se refiere todavía no se había instalado el caudalímetro.

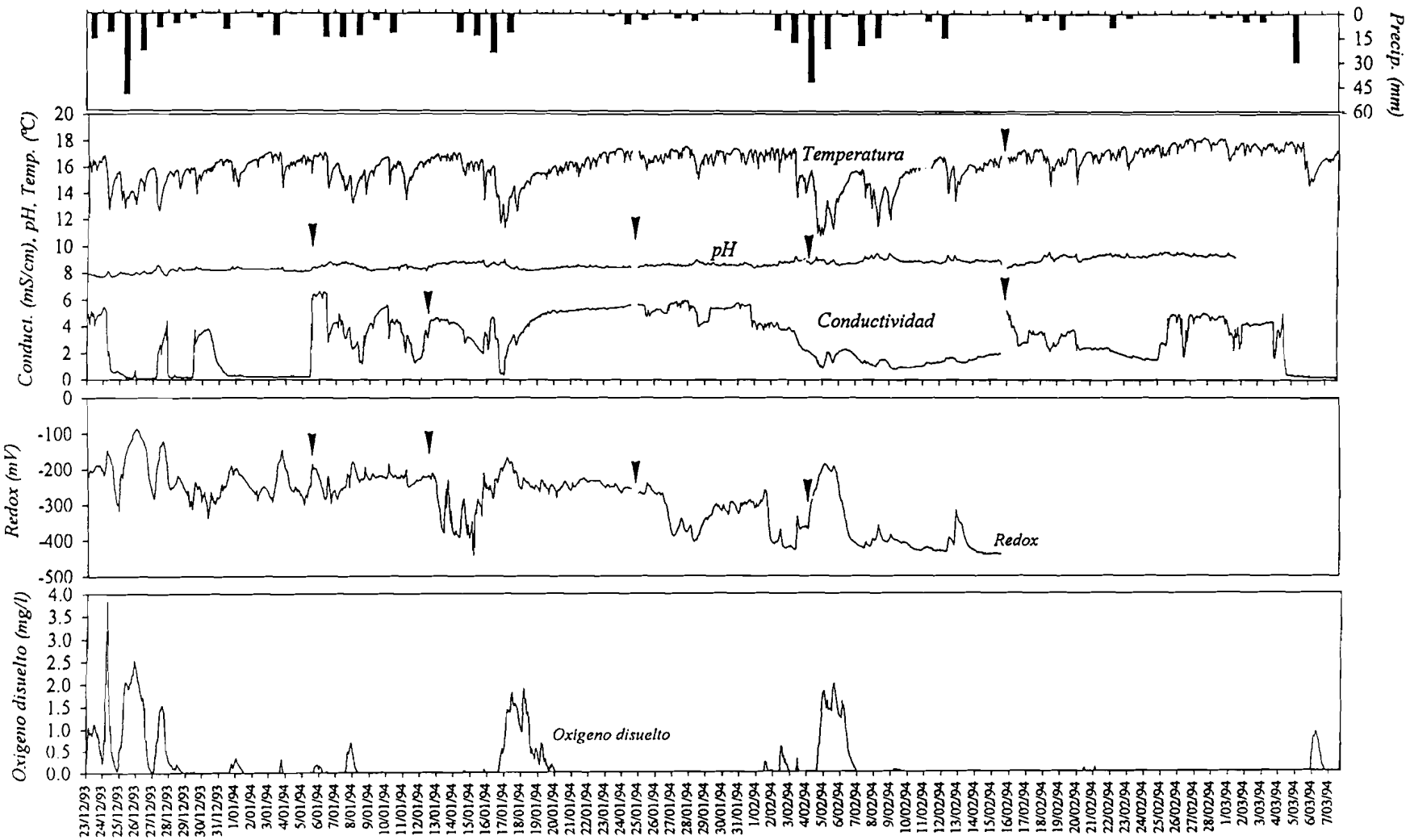


Figura 4.40. Evolución de la temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto y potencial redox de los lixiviados generados en el vertedero de San Marcos y relación existente con las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Pasajes. Periodo: 23-12-1993/7-3-1994. Datos medios horarios, salvo de precipitación (acumulados diarios). Flechas verticales: operaciones de limpieza.

de las precipitaciones registradas. Estos aumentos son tan elevados que sobrepasan en múltiples ocasiones el umbral máximo de medida para el que había sido diseñado el aforador Parshall (40 l/seg). Incluso precipitaciones no muy importantes, como las registradas los días 17 y 18-5-94 (28 y 9 mm respectivamente) provocan el desbordamiento del aforador.

Estos aumentos tan desproporcionados de caudal se ha comprobado que están relacionados con la inexistencia de canal perimetral en un sector superior del vertedero, lo que posibilita la entrada de importantes cantidades de aguas superficiales procedentes de un área de extensión considerable situada aguas arriba de ese sector del vertedero. La corrección de este defecto de diseño del vertedero se considera imprescindible para evitar que sigan entrando al vertedero tales cantidades de aguas de escorrentía.

La realización de balances hídricos en este vertedero queda sin sentido como consecuencia de la existencia de esta importante entrada de aguas, no cuantificada, externas al mismo.

- En general, con la información disponible, cabe asemejar el funcionamiento hídrico de este vertedero al de Lapatx, aunque sería muy conveniente controlar los caudales durante periodos más largos al objeto de corroborar esta conclusión preliminar.

Evoluciones de la temperatura, conductividad y pH. Relaciones con precipitaciones y caudales

Las evoluciones de temperatura son totalmente coherentes a lo largo de los 2 periodos controlados (del 23-12-93 al 7-3-94, Figura 4.40; y del 30-3-94 al 20-5-94, Figura 4.41). Cabe suponer, por tanto, el funcionamiento correcto de este sensor durante dichos periodos. Toda precipitación importante (en la primera figura) o aumento de caudal (segunda figura) va acompañada de descensos apreciables de temperatura. Estos descensos pueden alcanzar los 6°C (día 4-2-94 tras precipitaciones de 70,5 mm, producidas desde el día 2 de ese mes) o los 4°C (17-4-94, tras un fuerte aumento de caudal en el que se sobrepasan los 40 l/seg).

En el primer periodo de datos el valor medio es de 16,12°C (varía entre 10,8 y 18,2°C). En el segundo la media es de 17,9°C, variando los valores entre 13,05 y 19,43°C. Estos valores de temperatura están en consonancia con los de los lixiviados de Lapatx (16,76°C de media).

A lo largo de algunas fases de los periodos controlados, por ejemplo entre el 20-4-94 y el 3-5-94, pueden apreciarse ciclicidades diarias de temperatura, que parecen responder a la influencia de la temperatura ambiental (este fenómeno no se observaba en el caso del vertedero de Lapatx). Los máximos de temperatura de los lixiviados a lo largo de los días se alcanzan con unas horas de desfase (2-3) con respecto a los máximos de temperatura ambiental, hacia las 16-17 horas del día.

Las evoluciones de conductividad son, a diferencia de las de temperatura, bastante anómalas. Únicamente pueden distinguirse 3 periodos con registros válidos de forma mayoritaria, del 4-1-94 al 31-1-94, del 13-4-94 al 19-4-94, y del 3 al 7-5-94. El resto de los valores son claramente anómalos, habiéndose registrados durante periodos en los que el sensor había sido arrastrado (últimos días de Diciembre de 1993 y primeros de Enero de 1994,

también a partir del 5-3-94), se había taponado (del 27-4-94 al 3-5-94), o se había descalibrado (Febrero de 1994; a partir del 7-5-94).

Durante los periodos con registros válidos pueden apreciarse los descensos que se producen siempre que tienen lugar incrementos de caudal, de una forma más o menos paralela a como se producen los descensos de temperatura. Estos descensos llegan a ser del orden de 4 mS/cm(16 y 17-1-94).

Los valores de conductividad durante periodos en los que no se producen lluvias de consideración son del orden de 5-5,5 mS/cm (por ejemplo, entre el 20 y 24-1-94; no se dispone de datos de caudal al no estar todavía el caudalímetro instalado). Estos valores son muy superiores a los registrados en circunstancias similares en los lixiviados de Lapatx, en los que se rondaban los 2-2,5 mS/cm para caudales bastante inferiores (< 2 l/seg).

En cuanto a los registros de pH debe decirse que no se tiene mucha seguridad sobre la validez de los datos dado los problemas de mantenimiento ya mencionados (taponamiento de la zona sensible del sensor, dificultad en la limpieza del mismo e imposibilidad de calibrarlo). A lo largo del primer periodo de datos (Figura 4.40), da la impresión de que el pH se comporta inversamente a como lo hacen la temperatura y la conductividad (los valores de pH aumentan ligeramente cuando descienden los de los parámetros mencionados como consecuencia de los aumentos de caudal producidos). En cambio, durante la segunda serie de datos (Figura 4.41), parece que el sensor se encuentra totalmente insensible a los cambios de caudal por lo que es más que probable que se hubiese descalibrado. Dado el corto periodo controlado, se hace necesario continuar con este tipo de estudios a fin de conocer con más precisión el comportamiento del pH a lo largo de diferentes condiciones hidrológicas y de determinar si el tipo de sensor seleccionado es válido para el control de este tipo de efluentes (en Lapatx se llegó a la conclusión de que el sensor no servía para el fin propuesto).

Evoluciones de oxígeno disuelto y potencial redox

Al igual que ocurría en el caso de las evoluciones de pH, en el caso de las de oxígeno disuelto (O_{2dis}) y potencial redox, tampoco se tiene excesiva certeza sobre el grado de exactitud de los valores registrados. Los problemas de mantenimiento mencionados en el caso anterior son totalmente extensibles a los sensores de estos 2 parámetros. Además, la ausencia de referencias bibliográficas sobre los valores que suelen tomar estos parámetros en lixiviados de vertederos de R.S.U. aumentan más todavía las dudas existentes.

Hechas estas salvedades, cabe comentar que las evoluciones que se presentan en la figura 4.40 parecen mucho más coherentes que las de la figura 4.41, dando la impresión de que en el segundo periodo controlado los sensores se encuentran descalibrados, especialmente el de redox. Durante el primer periodo, el valor medio del potencial redox ronda los -286 mV, mientras que los valores de O_{2dis} suelen aproximarse a 0 salvo en momentos de altos caudales, en los que pueden alcanzar los 3,8 mg/l.

Durante el primer periodo controlado, los principales picos de O_{2dis} y de redox coinciden perfectamente con momentos en los que se producen aumentos de caudal (deducidos por los descensos de temperatura y conductividad), por lo que puede definirse, con la información disponible, una relación directa entre aumentos de caudal y de O_{2dis} y redox, lo

cual, a primera vista parece lógico, al contener las aguas de infiltración rápida, que ocasionan los rápidos aumentos de caudal, cantidades considerables de O_{2dis} que hacen aumentar el contenido relativo de O_{2dis} de los lixiviados así como disminuir las condiciones reductoras de los mismos.

Con estos 2 parámetros, como con el pH, se considera necesario continuar con el estudio de sus evoluciones durante periodos más continuados y a lo largo de diferentes condiciones hidrológicas.

4.5 VERTEDERO DE SASIETA

4.5.1. ESTIMACIÓN DE CAUDALES GENERADOS

En este vertedero no se dispone de datos en continuo de los caudales generados de lixiviados debido a la dificultad técnica que suponía la instalación de un caudalímetro en la parte final de la red de drenaje de los mismos. La única información disponible es la correspondiente a las cantidades de lixiviados (kg) extraidas de forma sucesiva, desde el momento del inicio de la actividad del vertedero, del depósito de recogida existente. A partir de estas cantidades se han calculado los caudales generados suponiendo que la densidad de los lixiviados es de 1 g/cm^3 (probablemente será un poco superior). Las cantidades de lixiviados (kg) extraidas del depósito se listan en la Tabla 4.21. En total se dispone de información referente a 3 años y medio (desde Enero-1992 a Mayo-1995)

En la Tabla 4.22 se presentan los valores de los caudales medios anuales estimados a partir de las cantidades de lixiviados listadas en la tabla anterior. Estos caudales medios son en los 4 años muy bajos, comprendidos entre 0,019 y 0,060 l/seg. Como queda de manifiesto, estos valores son muy inferiores a los obtenidos en el vertedero de Lapatx (3,16 l/seg, vertedero comparable al de Sasieta en cuanto al sistema de explotación y a las cantidades de residuos que recibe) y al de Góngora (0,81 l/seg, vertedero situado en una zona de menor pluviometría). También se listan en la Tabla 4.22 los porcentajes que suponen los volúmenes de lixiviados con relación a las precipitaciones totales registradas. Estos porcentajes son muy bajos en todos los casos, variando entre el 3,99 y el 7,2%.

AÑO	Periodo	días	Lix (l)	Q_{med} (l/seg)	Pp (l/m^2)	área (m^2)	Pp total (l)	Lix/P (%)
1992	15-1-92 a 27-11-92	318	613.520	0,0223	1.443	10.600	15.292.620	4,01
1993	28-11-92 a 30-12-93	398	1.435.440	0,0417	1.650	15.450	25.494.045	5,63
1994	31-12-93 a 29-12-94	364	1.519.370	0,0483	1.119	18.700	20.932.780	7,26
1995	30-12-94 a 31-5-95	153	789.960	0,0598	600,5	19.700	11.829.850	6,68

Tabla 4.22. Cantidades anuales de lixiviados, caudales medios y relación lixiviados /precipitación. Vertedero de Sasieta.

Por último, en la Tabla 4.23, se presentan los caudales medios estimados y las relaciones entre estos caudales y las precipitaciones registradas para periodos de tiempo de diferente longitud (entre 18 y 63 días). En cuanto a las relaciones caudales medios-precipitaciones registradas (en la tabla de la derecha se ordenan los caudales medios en función de las precipitaciones crecientes), cabe decir que no es posible establecer una relación mínimamente clara entre ambas series de valores (valores altos de caudales medios se asocian indistintamente a precipitaciones bajas o altas).

1992		
Fecha	Peso (kg)	Tot.mes (kg)
15/1/92	24.020	
16/1/92	24.580	
17/1/92	21.360	69.960
17/2/92	23.920	
19/2/92	23.660	
20/2/92	24.000	
21/2/92	23.300	94.880
22/4/92	23.700	
23/4/92	24.920	
24/4/92	14.660	63.280
19/5/92	24.620	
20/5/92	24.600	
21/5/92	24.860	74.080
9/6/92	24.840	
10/6/92	24.820	
11/6/92	19.740	69.400
14/10/92	24.420	
15/10/92	24.320	
19/10/92	24.700	73.440
5/11/92	24.540	
5/11/92	23.600	
6/11/92	24.780	
9/11/92	24.980	
26/11/92	23.480	
26/11/92	23.480	
27/11/92	23.620	168.480
SUMA	613.520	613.520

1993		
Fecha	Peso (kg)	Tot.mes (kg)
18/1/93	25.120	
18/1/93	25.040	
19/1/93	22.860	73.020
3/2/93	25.040	
3/2/93	25.120	
5/2/93	24.940	75.100
4/3/92	25.040	
4/3/92	25.080	
16/3/93	19.620	
23/3/93	20.020	
30/3/93	19.800	109.560
6/4/93	15.440	
14/4/93	17.460	
20/4/93	17.900	
27/4/93	17.740	68.540
3/5/93	17.580	
5/5/93	17.600	
6/5/93	8.160	
6/5/93	8.200	
11/5/93	18.900	
11/5/93	17.780	
12/5/93	17.680	
18/5/93	19.860	
25/5/93	19.340	
31/5/93	17.940	163.040
2/6/93	17.820	
2/6/93	17.880	
8/6/93	17.960	
10/6/93	8.300	
10/6/93	8.700	
15/6/93	20.020	
18/6/93	17.580	
23/6/93	17.900	
28/6/93	17.520	
28/6/93	17.700	
30/6/93	17.920	179.300
6/7/93	19760	
9/7/93	17740	
12/7/93	17660	
20/7/93	19180	
25/7/93	8480	
25/7/93	8720	91.540
5/8/93	20000	
24/8/93	17680	
25/8/93	17360	55.040
1/9/93	17880	
1/9/93	17400	
9/9/93	17420	
14/9/93	19980	
14/9/93	19920	92.600
8/10/93	18080	
18/10/93	27600	
28/10/93	25000	70.680
2/11/93	25020	
4/11/93	25040	
9/11/93	25020	
11/11/93	24960	
16/11/93	27460	
18/11/93	27680	
23/11/93	27240	
25/11/93	25020	-
30/11/93	25020	232.460
2/12/93	26440	
7/12/93	24020	
9/12/93	24060	
14/12/93	25060	
16/12/93	25060	
21/12/93	25040	
27/12/93	24960	
28/12/93	24960	
30/12/93	24960	224.560
SUMA	1.435.440	1.435.440

1994		
Fecha	Peso (kg)	Tot.mes (kg)
4/1/94	25.020	
7/1/94	25.020	
11/1/94	24.940	
13/1/94	24.880	
18/1/94	24.980	
20/1/94	25.020	
25/1/94	25.060	
28/1/94	27.760	202.680
1/2/94	27.680	
3/2/94	27.880	
8/2/94	25.000	
10/2/94	25.140	
15/2/94	25.000	
17/2/94	25.020	
23/2/94	24.960	
25/2/94	25.060	205.740
2/3/94	24.920	
4/3/94	25.160	
8/3/94	24.980	
10/3/94	25.060	
15/3/94	25.000	
17/3/94	24.980	
22/3/94	25.220	
24/3/94	25.240	
29/3/94	25.540	
30/3/94	25.400	251.500
6/4/94	24.900	
8/4/94	25.060	
12/4/94	25.100	
14/4/94	24.840	
20/4/94	26.970	
21/4/94	27.680	
26/4/94	26.580	
28/4/94	26.580	207.710
3/5/94	26.500	
5/5/94	26.500	
10/5/94	26.500	
13/5/94	26.500	
17/5/94	26.500	
20/5/94	26.580	
25/5/94	17.160	
27/5/94	19.160	
31/5/94	27.720	223.120
2/6/94	27.020	
8/6/94	27.280	
13/6/94	27.580	
14/6/94	27.340	
16/6/94	24.640	
21/6/94	27.940	
29/6/94	27.360	189.160
8/7/94	29.060	
14/7/94	27.020	
22/7/94	25.840	81.920
9/8/94	25.380	25.380
29/9/94	17.720	17.720
23/11/94	24.060	24.060
21/12/94	19.600	
23/12/94	24.020	
27/12/94	23.280	
29/12/94	23.480	90.380
SUMA	1.519.370	1.519.370

1995		
Fecha	Peso (kg)	Tot.mes (kg)
5/1/95	24.040	
12/1/95	24.960	
13/1/95	25.040	
17/1/95	24.820	
20/1/95	27.360	
24/1/95	27.880	
30/1/95	28.020	
31/1/95	26.900	209.020
10/2/95	26.220	
16/2/95	24.260	
17/2/95	24.820	
23/2/95	24.700	
28/2/95	24.740	124.740
3/3/95	24.380	
7/3/95	24.500	
10/3/95	27.860	
15/3/95	27.620	
15/3/95	27.880	
20/3/95	28.000	
23/3/95	27.880	
27/3/95	27.980	216.100
5/4/95	24.100	-
5/4/95	24.080	
10/4/95	24.120	
21/4/95	23.880	
22/4/95	23.680	
26/4/95	27.900	147.760
4/5/95	24.040	
4/5/95	14.720	
15/5/95	26.840	
31/5/95	26.740	92.340
SUMA	789.960	789.960

MES	1992	1993	1994	1995
Enero	69.960	73.020	202.680	209.020
Febrero	94.880	75.100	205.740	124.740
Marzo	-	109.560	251.500	216.100
Abril	63.280	68.540	207.710	147.760
Mayo	74.080	163.040	223.120	92.340
Junio	69.400	179.300	189.160	
Julio	-	91.540	81.920	
Agosto	-	55.040	25.380	
Septiembre	-	92.600	17.720	
Octubre	73.440	70.680	-	
Noviembre	168.480	232.460	24.060	
Diciembre	-	224.560	90.380	
TOTAL	613.520	1.435.440	1.519.370	789.960

Tabla 4.21. Cantidades de lixiviados (kg) extraidos del depósito de recogida de lixiviados del vertedero de Sasieta.

nº periodo	MESES	periodo	días	Lix (l)	Q_{med} (l/seg)	Pp (mm)
1	Febrero.92	18-1-92 a 21-2-92	35	94.880	0,031	40,8
2	Marzo.92-Abril.92	22-2-92 a 24-4-92	63	63.280	0,012	340,2
3	Mayo.92	25-4-92 a 21-5-92	27	74.080	0,032	58,7
4	Junio.92	22-5-92 a 11-6-92	21	69.400	0,038	99,6
5	Junio.92-Noviembre.92	12-6-92 a 19-10-92	129	73.440	0,007	598,9
6	Noviembre.92	20-10-92 a 27-11-92	39	168.480	0,050	303,7
7	Diciembre.92-Enero.93	28-11-92 a 19-1-93	53	73.020	0,016	202
8	Febrero.93	20-1-93 a 5-2-93	17	75.100	0,051	6
9	Marzo.93	6-2-93 a 30-3-93	52	109.560	0,024	202,5
10	Abril.93	31-3-93 a 27-4-93	28	68.540	0,028	191,6
11	Mayo.93	28-4-93 a 31-5-93	34	163.040	0,056	101,2
12	Junio.93	1-6-93 a 30-6-93	30	179.300	0,069	178
13	Julio.93	1-7-93 a 25-7-93	25	91.540	0,042	35,9
14	Agosto.93	26-7-93 a 25-8-93	31	55.040	0,021	73,0
15	Septiembre.93	26-8-93 a 14-9-93	20	17.720	0,010	44,9
16	Octubre.93	15-9-93 a 28-10-93	44	70.680	0,019	313,7
17	Noviembre.93	29-10-93 a 30-11-93	33	232.460	0,082	71,3
18	Diciembre.93	1-12-93 a 30-12-93	30	224.560	0,087	230,0
19	Enero.94	31-12-93 a 28-1-94	29	202.680	0,081	113,6
20	Febrero.94	29-1-94 a 25-2-94	28	205.740	0,085	96,9
21	Marzo.94	26-2-94 a 30-3-94	33	251.500	0,088	59,8
22	Abril.94	31-3-94 a 28-4-94	29	207.710	0,083	247,9
23	Mayo.94	29-4-94 a 31-5-94	33	223.120	0,078	83,6
24	Junio.94	1-6-94 a 29-6-94	29	189.160	0,075	84,9
25	Julio.94	30-6-94 a 22-7-94	23	81.920	0,041	5,9
26	Agosto.94	23-7-94 a 9-8-94	18	25.380	0,016	39,7
27	Septiembre.94	10-8-94 a 29-9-94	51	17.720	0,004	118,1
28	Octubre.94-Noviembre.94	30-9-94 a 23-11-94	55	24.060	0,005	165,1
29	Diciembre.94	24-11-94 a 29-12-94	36	90.380	0,029	103,9
30	Enero.95	30-12-94 a 31-1-95	33	209.020	0,073	220,3
31	Febrero.95	1-2-95 a 28-2-95	28	124.740	0,052	98,8
32	Marzo.95	1-3-95 a 27-3-95	27	216.100	0,093	119,9
33	Abril.95	28-3-95 a 26-4-95	30	147.760	0,057	68,5
34	Mayo.95	27-4-95 a 31-5-95	35	92.340	0,031	93

nº periodo	Q_{med} (ml/seg)	Pp (mm)
25	41,22	5,9
8	51,13	6
13	42,38	35,9
26	16,32	39,7
1	31,38	40,8
15	10,25	44,9
3	31,76	58,7
21	88,21	59,8
33	57,01	68,5
17	81,53	71,3
14	20,55	73,0
23	78,25	83,6
24	75,49	84,9
34	30,54	93
20	85,04	96,9
31	51,56	98,8
4	38,25	99,6
11	55,50	101,2
29	29,06	103,9
19	80,89	113,6
27	4,02	118,1
32	92,64	119,9
28	5,06	165,1
12	69,17	178
10	28,33	191,6
7	15,95	202
9	24,39	202,5
30	73,31	220,3
18	86,64	230,0
22	82,90	247,9
6	50	303,7
16	18,59	313,7
2	11,63	340,2
5	6,59	598,9

Tabla 4.23. Estimación de los caudales de lixiviados generados en el vertedero de Sasieta durante periodos de diferente longitud. Caudales medios y relación con las precipitaciones registradas en la estación de Ordizia.

Tanto los anormalmente bajos caudales medios obtenidos como la ausencia de relaciones entre caudales medios-precipitaciones, evidencian la nula representatividad de la información de partida. Se estima como probable el hecho de que se produzcan pérdidas importantes de lixiviados (infiltración en el subsuelo, entradas de lixiviados a la galería que discurre por el fondo de la vaguada sobre la que se emplaza el vertedero y que tiene como misión evacuar las aguas de escorrentía superficial, pérdidas en la tubería de lixiviados antes de alcanzar el depósito, pérdidas en el mismo depósito, etc.).

Por todo ello, se considera imprescindible comprobar el buen funcionamiento del sistema de drenaje de lixiviados y la ausencia de infiltraciones al subsuelo así como controlar exhaustivamente los volúmenes de lixiviados generados, en caso de que no pueda abordarse la instalación de un caudalímetro con vistas a medir en continuo los caudales generados.

4.6. BALANCES HÍDRICOS

4.6.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Como se comentó en el capítulo 3, en todo vertedero controlado que se tenga como tal, la correcta gestión de lixiviados debe incluir la realización de balances hídricos periódicos que nos van a informar sobre el buen o mal diseño, construcción y/o explotación de los mismos. Los balances hídricos pueden poner de manifiesto:

- La existencia de entradas de agua ajenas al vertedero (por mal diseño, construcción o mantenimiento de los canales perimetrales, o por entradas de aguas subterráneas si el fondo del vertedero no está adecuadamente impermeabilizado) en el caso de que las cantidades estimadas en el balance sean muy superiores a las medidas en la estación de control.

- Existencia de pérdidas de lixiviados (infiltración en el subsuelo) en el caso de que las cantidades estimadas sean muy inferiores a las medidas.

Lógicamente, estas cuestiones sólo pueden deducirse si se controlan de forma efectiva los caudales de lixiviados generados en los vertederos en cuestión, aspecto que no es habitual en los vertederos actuales.

Si partimos de la base de que el vertedero ha sido correctamente aislado (impermeabilización y canales perimetrales), si la superficie del mismo es horizontal, si no se produce recirculación de lixiviados y no se vierten cantidades apreciables de residuos líquidos, y dado que las entradas y salidas por descomposición de la basura y salidas en forma de gas son claramente despreciables frente al resto de factores, la ecuación general del balance hídrico puede expresarse de la forma resumida:

$$L = W_P - ETR \pm \Delta S$$

Lixiviados = Precipitación - Evapotranspiración real ± Variación de la humedad almacenada

A pesar de que esta expresión es muy sencilla, la estimación de sus componentes es bastante compleja. Así, existe una importante incertidumbre a la hora de estimar la ETR y las características de almacenamiento de humedad de los residuos (ΔS). Incluso debe tenerse

cuidado con los datos de precipitación utilizados y procurar que éstos se hayan registrado en el mismo vertedero. Por todo ello, los resultados obtenidos en los balances hídricos realizados en vertederos de R.S.U. deben ser considerados como aproximados, es decir, con un cierto grado de error asociado, siendo el conocimiento de la cantidad real de lixiviados generados durante un periodo de tiempo el factor que puede ayudar a una mejor determinación de los componentes del balance, para su aplicación a otros periodos de tiempo.

La ecuación previa se ha aplicado únicamente en el vertedero de Lapatx dado que en el resto, o bien no se controlaban los caudales, o los datos existentes no son del todo representativos (Góngora, San Marcos y Sasieta).

4.6.2. PROBLEMÁTICA EN LOS VERTEDEROS DE SAN MARCOS, SASIETA Y GÓNGORA

En estos vertederos no se han realizado los balances hídricos al llegarse a la conclusión de que los caudales registrados no reflejan con fidelidad las cantidades de lixiviados generados.

- En el vertedero de San Marcos no hay un volumen de información suficiente como para llegar a conclusiones válidas (sólo se dispone de datos de caudal en continuo referente a 50 días) y la representatividad de la misma es muy limitada dada la entrada de importantes cantidades de aguas superficiales procedentes de un área situada aguas arriba de un sector del vertedero en el que no existe canal perimetral (ver apartado 4.4.3 y Figura 2.3).

- En el vertedero de Sasieta, la escasa calidad de los datos de partida (deducidos a partir de las cantidades, en kg, de lixiviados extraidos del depósito existente) y el hecho más que probable de que se produzcan pérdidas importantes de lixiviados (infiltración en el subsuelo, entrada de lixiviados en la galería de drenaje de aguas superficiales,..) deja sin mucho sentido la realización de balances hídricos. De todas formas, se han calculado (ver apartado 4.5.1 y Tabla 4.22) los porcentajes que suponen los volúmenes de lixiviados con relación a las precipitaciones registradas (éstos varían entre el 4 y el 7,2%, que como puede verse son excesivamente bajos).

- Por último, en el vertedero de Góngora simplemente se ha realizado una comparación (Tabla 4.24) entre las cantidades anuales registradas en la arqueta de control y las entradas de agua al vertedero (100% de la precipitación). El hecho de que se mezclen los lixiviados con todas las aguas utilizadas en las instalaciones del centro de tratamiento (planta de lavado de plásticos y de reciclaje de demás productos, lavadero de camiones, laboratorio y servicios), que pueden ser cantidades relativamente importantes, y que no han podido ser tenidas en cuenta por no disponerse de ellas, limitan de forma importante los resultados de estas comparaciones. Afortunadamente, este problema está siendo solventado en la actualidad (finales de 1996) y una vez finalizadas las obras pertinentes, las aguas utilizadas en las instalaciones se mezclarán con los lixiviados después de la arqueta de control de lixiviados.

En el primer año se ha considerado como área de vertido 1,3 ha (2 celdas: una de 0,3 ha, colmatada y cubierta de arcillas, y otra de 1 ha en activo). En el segundo, se ha considerado 2,3 ha (3 celdas: 2 colmatadas, de 0,3 y 1 ha, cubiertas de arcillas en las que, en teoría, no tendría que producirse en ellas una infiltración importante, y una activa, de 1 ha).

Como se observa en la Tabla 4.24, los lixiviados medidos en 1993 suponen el 242% de las entradas (consideradas como el 100% de la precipitación caída sobre la totalidad de las celdas, incluso sobre las colmatadas y cubiertas de arcillas) y en 1994 el 196%. Lógicamente, si tenemos en cuenta que parte de la precipitación necesariamente debe evapotranspirarse (los valores calculados por el método de Thornthwaite son de 694 y 738 mm para los 2 años considerados), y más en este caso, en el que la temperatura ambiental es elevada durante periodos importantes del año y la evapotranspiración por fermentación no es despreciable al ser la basura básicamente orgánica, estos porcentajes aumentarán más todavía. Desgraciadamente, en áreas como en la que se encuentra este vertedero (altas temperaturas, precipitaciones no muy importantes), el cálculo de la evapotranspiración mediante fórmulas empíricas no se considera muy acertado por los motivos ya comentados en el apartado 3.3.3. (los mecanismos de la humedad en estos vertederos son muy diferentes a los existentes en vertederos de zonas húmedas,..).

AÑO	Precipitación (mm)	Area (m^2)	Entradas (m^3)	Lixiviados (m^3)	Lix./Entr. (%)	ETP (mm) (Thornthwaite)
1993	683,6	13.000	8.887	21.534	242	694
1994	655,6	23.000	15.079	29.530	196	738

Tabla 4.24. Comparación entre las entradas de agua (100% de la precipitación) y las cantidades registradas en el vertedero de Góngora.

De esta Tabla se deduce la importancia de considerar las cantidades de agua procedentes de las instalaciones del centro de tratamiento dadas las grandes diferencias existentes entre las entradas por precipitación y las cantidades medidas. En caso de que incluso considerándolas las cantidades de lixiviados fuesen mayores a las entradas totales, cabría la posibilidad de que parte de las aguas de lluvia que caen fuera de las celdas del vertedero no se drenen correctamente y pasen al colector de lixiviados.

4.6.3. BALANCE HÍDRICO EN EL VERTEDERO DE LAPATX

4.6.3.1. VARIACIÓN LOCAL DE LA PRECIPITACIÓN

Como se vió en el capítulo 3 (ver apartado 3.2.1.1) la precipitación (W_P) sobre la masa vertida es la principal fuente de lixiviados. Un aspecto a tener en cuenta al considerar los datos de precipitación es el de las diferencias, en ocasiones importantes, que se dan entre áreas a veces muy próximas, especialmente en áreas montañosas, como es el caso de Gipuzkoa. Esta variabilidad espacial es particularmente pronunciada en el caso de eventos concretos de precipitación tales como tormentas de verano, aunque también se da en los valores totales anuales. Por ello las medidas "in situ" son siempre las que ofrecen mayores garantías.

Debido a estos problemas, y dado que sólo se ha dispuesto de datos de precipitación registrados en el propio vertedero por la estación METOSDAT (ver apartado 4.2.2.3) durante un corto periodo de tiempo (desde Junio de 1993 hasta Junio de 1996 pero con periodos sin datos por problemas de averías o revisiones), se han comparado las precipitaciones registradas en el vertedero con aquellas registradas en las estaciones meteorológicas próximas al objeto de ver diferencias y semejanzas y determinar cómo rellenar los periodos sin datos en la estación situada en el vertedero con datos de otra de las estaciones próximas.

En este trabajo se ha trabajado con ETR equivalentes, aplicables a la totalidad del área del vertedero, sin diferenciar entre zonas sin cubrir y zonas cubiertas (minoritarias). Estos valores de ETR se han calculado a partir de la ETP, calculada a su vez mediante diversos métodos. En el caso que nos ocupa, se han empleado 2 métodos diferentes para estimar los valores de la ETP:

- Thornthwaite (1954), basado en la media mensual de las temperaturas diarias del aire y en el número máximo de horas de sol para una latitud concreta (ver apartado 3.3.1).

- Penman-Brutsaert (Brutsaert, 1982). La fórmula es compleja y tiene en cuenta las variables físicas que afectan a la ETP, tales como velocidad del viento, humedad relativa del aire, presión atmosférica, albedo, temperatura y radiación solar.

Este último método, ha podido ser aplicado únicamente en aquellos periodos en los que se ha contado con un registro continuo de variables meteorológicas en el mismo vertedero de Lapatx (estación automática METOSDAT). A tal efecto, se ha utilizado un programa informático desarrollado por Carlos Luengo, miembro del Grupo de Hidrogeología de la U.P.V./E.H.U., que permite calcular el valor de la ETP a intervalos de 30 minutos. El fundamento de este método puede consultarse en el Anexo 4.4.

La ETR se ha calculado mediante el método del balance de agua en el suelo (ver apartado 3.3.1) aplicado normalmente a nivel mensual, y en ocasiones a nivel diario, considerando la ETP determinada por el método de Thornthwaite. En cambio, en el periodo en el que se ha aplicado la fórmula de Penman-Brutsaert para calcular la ETP, el balance de agua en el suelo se ha realizado a intervalos de 30 minutos.

El cálculo del balance de agua en el suelo a intervalos diarios se ha realizado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se ha limitado la existencia de evapotranspiración a los días en los que no se ha registrado lluvia, es decir, en los días en los que llueve se ha supuesto que no se produce evapotranspiración. Con esta condición se pretende reflejar una realidad observada en el vertedero de Lapatx a lo largo del periodo que ha durado la investigación como es la de la gran capacidad de infiltración de la superficie del vertedero (ni siquiera tras precipitaciones muy intensas se producen acumulaciones de agua en la superficie del mismo; una parte importante del agua caída transpasa rápidamente la zona de infiltración afectada por la evapotranspiración posterior). Además hay que tener en cuenta que la ubicación del vertedero, en el fondo de un valle muy cerrado y sombrío, no favorece el que la evapotranspiración sea importante en días lluviosos que normalmente suelen ser muy nubosos (menor radiación solar).

- Los valores mensuales de ETP, calculados mediante el método de Thornthwaite, se reparten entre los días no lluviosos en cada mes. De esta forma, en cada mes habrá unos días en los que la ETP se considera nula (días lluviosos), y otros, en los que los valores de ETP serán idénticos entre sí y resultado de dividir el valor total mensual entre el número de días no lluviosos (días secos).

El balance de agua en el suelo a intervalos de 30 minutos se ha realizado mediante el

programa desarrollado para el cálculo de la ETP para ese intervalo (Luengo *et al.*, 1997). Como condición para su cálculo se considera que en los intervalos en los que llueve no se produce evapotranspiración. Como valores de ETP se utilizan, lógicamente, los calculados para cada intervalo. Dicho programa calcula también los acumulados diarios y mensuales de todos los componentes del balance. En la Figura 4.42 se representa la evolución de dichos componentes en el periodo estudiado considerando 50 mm como máxima retención de humedad.

Otras consideraciones generales tomadas como hipótesis de partida a la hora de calcular los balances hídricos han sido:

- El calor producido durante la descomposición de los residuos orgánicos es una fuente de calor adicional que según Benz & Bengtsson (1996) puede hacer que la ETR se incremente en un 10-20 % en vertederos en los que predominan los residuos orgánicos, pero que en este vertedero se considera despreciable dado que la cantidad de material orgánico no es predominante (en la Tabla 2.2 puede verse cómo los R.S.U. sólo constituyen el 25-30% en peso del total; de este porcentaje sólo aproximadamente el 40% puede considerarse materia orgánica tal y como se desprende de la Tabla 5.2).

- Se considera que la evapotranspiración afecta a la parte superficial del vertedero en un espesor de 50 cm.

- Como valores máximos de retención de humedad (U) de los residuos se han considerado 2 valores, 100 mm y 50 mm, por considerarlos los más realistas tras el estudio bibliográfico realizado (ver apartado 3.2.3).

4.6.3.3. CÁLCULO DE LOS BALANCES

La realización de balances hídricos en el vertedero de Lapatx es complicada dada el grado de incertidumbre que se tiene en los parámetros fundamentales que intervienen: evapotranspiración real y características de almacenamiento de humedad por parte de los residuos.

Además debe de tenerse en cuenta la existencia de dos puntos localizados en el vertedero en los cuales el canal perimetral no es totalmente efectivo por estar construido sobre materiales coluviales y permitir el paso de parte del agua de escorrentía superficial, de difícil cuantificación, que se genera ladera arriba. Por último, también debe mencionarse el deficiente mantenimiento de la red de drenaje de lixiviados en la zona del vertedero en la que aún no se han vertido residuos (existencia de arquetas rotas, crecimiento incontrolado de vegetación arbórea cuyas raíces pueden llegar a dañar los drenes existentes y romper la capa de arcilla sellante) que ha permitido que aguas que no tendrían que mezclarse, en teoría, con los lixiviados lo hayan hecho en una proporción también difícil de estimar. Ambas cuestiones hacen que el área del vertedero que contribuye a generar los lixiviados registrados también sea una incógnita a la hora de establecer el balance hídrico.

Por todo ello, se han realizado varios balances hídricos (sin considerar la existencia de evapotranspiración, considerando los valores de ETR obtenidos mediante los distintos métodos explicados previamente, y variando el valor del área que contribuye a generar

lixiviado). Se han definido así diversos escenarios para los que se han obtenido unos resultados concretos que se discuten finalmente de forma conjunta. En los primeros 3 escenarios los balances se realizan para 4 periodos de diferente longitud en los que existen registros de caudal en continuo (su longitud varía entre 121 y 365 días). En el cuarto escenario, en cambio, sólo se considera el periodo Septiembre.94-Enero.1995 (153 días), en el cual también se dispone de registro continuo de parámetros meteorológicos.

Escenario 1:

En primer lugar se ha comparado, para los diferentes periodos, las entradas de agua debidas a la precipitación con las cantidades de lixiviados recogidas con el único objetivo de tener una idea inicial de las relaciones precipitaciones-salidas. Como se ve en la Tabla 4.26, las salidas (lixiviados) son mayores que las entradas (100% de la precipitación) en todos los casos, considerando 5 ha como área generadora de lixiviados (el valor obtenido por planimetría del área activa es en realidad un poco menor, 4,8 ha). Los porcentajes que suponen varían entre el 101 y 148%.

Estos valores, obtenidos considerando nula la evapotranspiración, ponen de manifiesto, claramente, la existencia de aportes de agua externos al vertedero (sale más de lo que entraría en el caso de que toda la precipitación percolara en el vertedero). Según la información recabada por algunos autores (Ehrig, 1983; IMA Consult, 1995), el % que suponen los lixiviados con relación a la precipitación, aunque muy variable de unos vertederos a otros, puede considerarse comprendido entre un 10 y un 60%. Por todo ello, en nuestro caso, va a ser necesario aumentar los valores del área generadora de lixiviados al objeto de poder equilibrar las entradas con las salidas.

Escenario 2:

En este caso, se tiene en cuenta la evapotranspiración (calculada por el método de Thornthwaite) y se realiza el balance del suelo a escala mensual. Como valor máximo de retención de humedad del suelo (U) se ha tomado el de 100 mm, máximo valor considerado en este estudio. En el primer periodo se ha supuesto que el suelo inicialmente estaba totalmente seco (Agosto), mientras que en los tres restantes se ha considerado que estaba saturado (Febrero, Abril y Noviembre). En la Tabla 4.26 se muestran los resultados obtenidos. Los lixiviados son claramente superiores a las entradas de agua calculadas (suponen el 136-722% de las cantidades percoladas considerando 5 ha como área generadora de lixiviados y el 113-601% de las mismas considerando 6 ha como área generadora de lixiviados). Como se ve, los balances están muy desequilibrados, especialmente en el periodo Abril.95-Jul.95. Lógicamente, cuanta más área consideremos como generadora de lixiviados (7, 8 ha, o valores superiores) más se equilibran los balances.

Escenario 3:

Se considera que la evapotranspiración potencial es la mitad del valor calculado por el método de Thornthwaite y, como en el caso anterior, se realiza el balance del suelo a escala mensual. Como valor máximo de retención de humedad del suelo se ha tomado el de 50 mm. Como condiciones iniciales del suelo se han considerado las mismas que en el escenario 2. En

la Tabla 4.26 se muestran los resultados obtenidos. Lógicamente, el desequilibrio entre lixiviados-cantidades percoladas es menor pero todavía sigue siendo importante (los lixiviados suponen el 124-221% de las cantidades percoladas considerando 5 ha como área generadora de lixiviados y el 103-185% de las mismas considerando 6 ha como área generadora de lixiviados).

Escenario 1				
PERIODO	Pp (mm)	Entradas (m^3)(5 ha)	Lixiv. (m^3)	Lix/Entr. (%) (5 ha)
Ago.91-Feb.92	948,3	47.414	70.003	148
Feb.94-Ene.95	1622,5	81.124	111.349	137
Abr.95-Jul.96	320,5	16.026	16.244	101
Nov.95-Feb.96	643,2	32.158	36.439	113

Escenario 2											
PERIODO	Pp (mm)	ETP (mm)	Pp-ETP (mm)	AS	ETR	Percol. (mm)	Entradas (m^3)(5 ha)	Entradas (m^3)(6 ha)	Lixiv. (m^3)	Lix/Entr. (%) (5 ha)	Lix/Entr. (%) (6 ha)
Ago.91-Feb.92	948,3	360,4	587,9	100	278,3	569,9	28.495	34.194	70.003	246	205
Feb.94-Ene.95	1622,5	747	875,5	0	747	875,5	43.774	52.529	111.349	254	212
Abr.95-Jul.96	320,5	347,7	-27,2	-72,2	347,7	44,9	2.245	2.694	16.244	724	603
Nov.95-Feb.96	643,2	106,8	536,4	0	106,8	536,4	26.818	32.181	36.439	136	113

Escenario 3											
PERIODO	Pp (mm)	ETP/2 (mm)	Pp-ETP (mm)	AS	ETR	Percol. (mm)	Entradas (m^3)(5 ha)	Entradas (m^3)(6 ha)	Lixiv. (m^3)	Lix/Entr. (%) (5 ha)	Lix/Entr. (%) (6 ha)
Ago.91-Feb.92	948,3	180,2	768,1	50	164,4	733,9	36.697	44.036	70.003	191	159
Feb.94-Ene.95	1622,5	373,5	1249,0	0	373,5	1248,9	62.445	74.934	111.349	178	149
Abr.95-Jul.95	320,5	173,9	146,7	0	173,9	146,7	7.334	8.801	16.244	221	185
Nov.95-Feb.96	643,2	53,4	589,8	0	53,4	589,8	29.488	35.385	36.439	124	103

Escenario 4.1 (periodo: Septiembre.1994-Enero.1995)											
U (mm)	Tipo Balance	PP (mm)	ETP (mm)	ΔU (mm)	ETR (mm)	Percol. (mm)	Entradas (m^3)(5 ha)	Entradas (m^3)(6 ha)	Lixiv. (m^3)	Lix/Entr. (%) (5 ha)	Lix/Entr. (%) (6 ha)
100	mensual	827,3	218,1	97	218,1	512,2	25.610	30.732	51.077	199	166
100	diario	827,3	218,1	98	206,1	523,6	26.179	31.415	51.077	195	163
50	mensual	827,3	218,1	50	218,1	559,2	27.960	33.552	51.077	183	152
50	diario	827,3	218,1	48	205,9	573,7	28.687	34.424	51.077	178	148
50	cada 30 min	827,3	189,7	48,4	117,7	661,3	33.065	39.678	51.077	154	129

Escenario 4.2 (periodo: Septiembre.1994-Enero.1995)											
U (mm)	Tipo Balance	PP (mm)	ETP (mm)	ΔU (mm)	ETR (mm)	Percol. (mm)	Entradas (m^3)(7 ha)	Entradas (m^3)(8 ha)	Lixiv. (m^3)	Lix/Entr. (%) (7 ha)	Lix/Entr. (%) (8 ha)
50	cada 30 min	827,3	189,7	48,4	117,7	661,3	46.291	52.904	51.077	110	97

Tabla 4.26. Resultados del balance hídrico en el vertedero de Lapatx para los diferentes escenarios considerados (ΔU: variación de la humedad retenida por el suelo).

Se deduce, por tanto, que para equilibrar las entradas con las salidas es necesario considerar entre 6 y 8 ha como área generadora de lixiviados en el caso de que demos por válidos el valor de 50 mm como "máximo de retención de humedad" y de que consideremos como valores de evapotranspiración potencial la mitad de los valores calculados por el método de Thornthwaite.

Escenario 4:

En este caso el balance se ha realizado para el periodo Septiembre.94-Enero.1995. El hecho de disponer para este periodo de registros continuos de parámetros meteorológicos ha permitido efectuar el balance del suelo también a escala diaria (ETP calculada mediante Thornthwaite) y a intervalos de media hora (método de Penman-Brutsaert) además de a escala

mensual (ETP calculada mediante Thornthwaite). De esta forma se ha podido comparar los valores de percolación obtenidos de las 3 formas (Escenario 4.1 de la Tabla 4.26).

Para calcular el contenido en humedad inicial en el caso de los balances mensuales se ha realizado previamente el balance en los 4 meses anteriores (de Mayo a Agosto de 1994) suponiendo que ei suelo se encontraba saturado al inicio de Mayo.

Los valores de percolación obtenidos varían en función del método que utilicemos para su cálculo. En los casos considerados (máximo de retención de humedad de 100 y 50 mm) las percolaciones obtenidas en los balances realizados a escala diaria son mayores que las obtenidas en los realizados a escala mensual. A su vez, los valores obtenidos en los balances realizados a intervalos de media hora (50 mm como máximo de retención de humedad) son más elevados todavía, si bien hay que tener en cuenta que se parte de valores de ETP inferiores. En este caso las diferencias entre los valores de percolación calculados a intervalos de media hora y a escala mensual es de 34,5 mm (345 m^3 por cada ha considerada como generadora de lixiviados) y entre los valores de ETR de 32,8 mm. La relación lixiviados/entradas pasa del 183 al 172% y del 152 al 143% si consideramos 5 y 6 ha respectivamente como área generadora de lixiviados.

Se deduce, por consiguiente, que la realización de balances hídricos con datos mensuales no es la más apropiada, al menos en los casos estudiados, y que debe procurarse trabajar con información correspondiente a intervalos lo más cortos posibles (horarios o cada media hora) y trabajar posteriormente con valores acumulados a intervalos superiores (de varios meses como mínimo). Por otra parte, cabe resaltar el hecho de que los valores mensuales de ETP y ETR obtenidos mediante el método de Penman-Brutsaert son del orden de 10-15% menores que los obtenidos por el método de Thornthwaite.

En la Figura 4.42 puede comprobarse a nivel diario la relación existente entre los diferentes componentes del balance hídrico: las precipitaciones importantes ocasionan claros incrementos de la humedad retenida por el suelo; en gran parte del periodo considerado el suelo se encuentra cerca del valor máximo de retención de humedad, lo que unido a la cuantía de las precipitaciones registradas hace que los valores de la ETR coincidan normalmente con los valores potenciales; las percolaciones se producen durante los peridos más lluviosos, dando lugar a claros incrementos de caudal.

El balance más equilibrado (escenario 4.2) se consigue, para el periodo estudiado, considerando unas 8 ha como área generadora de lixiviados, 50 mm como máximo de retención de humedad del suelo, calculando la ETP mediante el método de Penman-Brutsaert y realizando el balance a intervalos de media hora. Se llega a la conclusión, por tanto, de que, suponiendo que estas tres últimas consideraciones son acertadas, en el vertedero de Lapatx se están produciendo unas cantidades de lixiviados que corresponderían a un vertedero de las mismas condiciones pero con un área activa del orden de un 70% superior al área activa actual, que es de unas 4,8 ha. Esto quiere decir que, la suma de las entradas al vertedero de aguas de escorrentía superficial externas (debidas a errores puntuales en el diseño del canal perimetral) más las entradas producidas en el área del vertedero aún inactiva a causa de un deficiente mantenimiento (la extensión total del vertedero es de 9,2 ha), supone una cantidad equivalente a la de los lixiviados que se producirían en unas 3,2 ha de vertedero en activo.

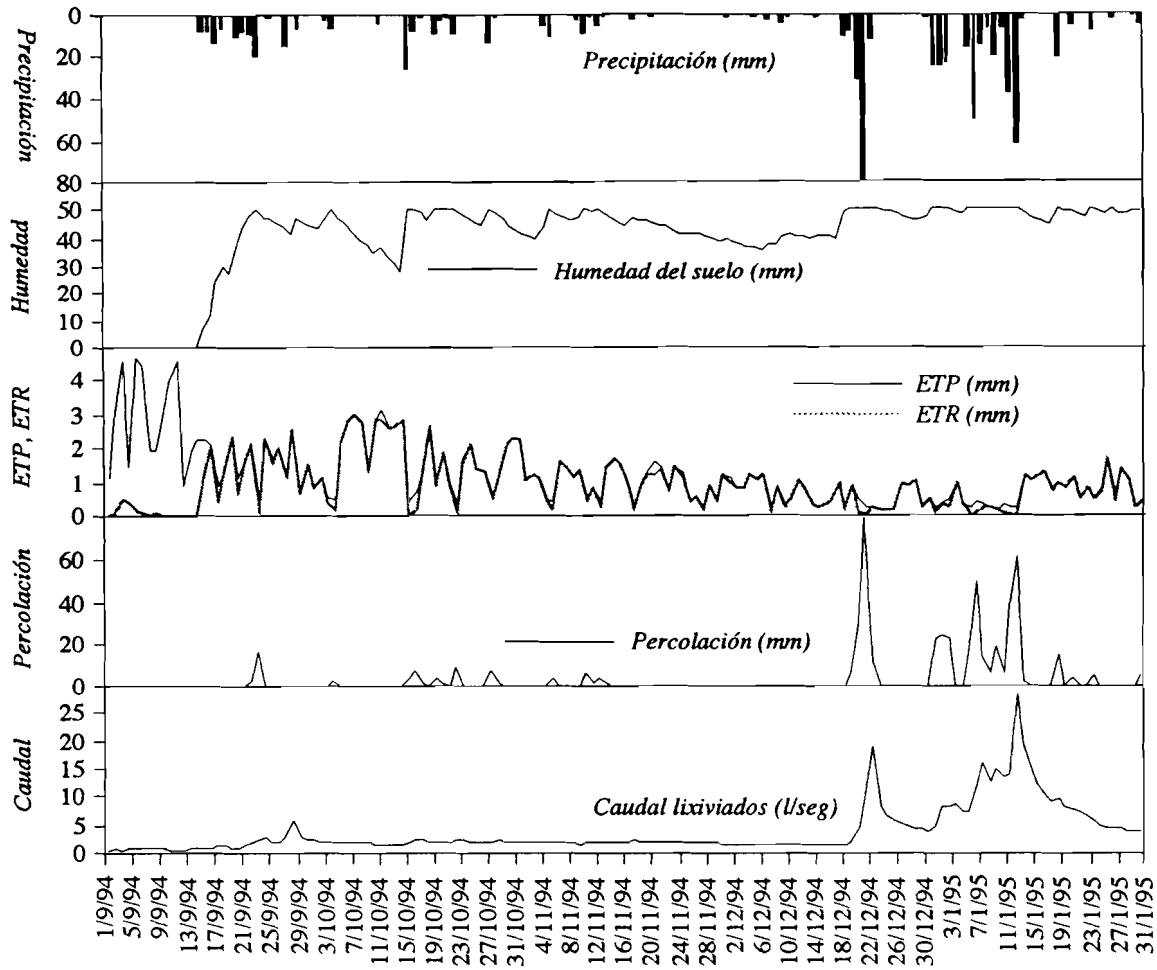


Figura 4.42. Evolución diaria de los principales componentes del balance hídrico. Vertedero de Lapatx. Periodo: Septiembre.1994-Enero.1995.

4.7. MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

4.7.1. MODELOS EXISTENTES

Durante los últimos años se han desarrollado distintos modelos para el cálculo del balance hídrico en vertederos controlados. Actualmente, sólo uno de ellos, el modelo HELP (Schroeder *et al.*, 1984, 1988, 1994), ampliamente usado en USA, puede ser adquirido por particulares. En UK, varias empresas privadas han desarrollado modelos para ordenadores personales, pero ninguno de ellos, en estos momentos, está disponible para usos particulares por no haber sido comercializados.

Son muchas las variaciones que presentan los distintos modelos en lo referente a las formas de representar los procesos hidrológicos que intervienen en el balance hídrico. Hasta el momento, ninguno de ellos ha sido calibrado con el suficiente detalle con datos procedentes de vertederos reales, por lo que no es posible todavía conocer el grado de exactitud con que cada uno de ellos refleja los procesos hidrológicos que tienen lugar.

A continuación se citan los principales modelos existentes y se describen las características fundamentales de todos ellos excepto del modelo HELP, que es tratado en el siguiente apartado:

USA	**EUROPA**
EPA-1975	ERAIN
CREAMS	GOLDER
HSSWDS	Modelo WRC (Water Research Centre)
RSM	CANZIANI & COSSU (1989); RIJTEMA *et al.* (1986)
UNSAT-H	
HELP	

EPA-1975

Fenn *et al.* (1975) desarrollaron para la U.S. Environmental Protection Agency (EPA) un método de cálculo del balance hídrico que permite predecir la generación de lixiviados en vertederos en base a los coeficientes de escorrentía y a los valores de almacenamiento de humedad de los residuos urbanos que ellos mismos aportan.

Este modelo está basado en los trabajos originales de Thornthwaite & Mather (1957), modelo WBM (Water Balance Method), sobre la estimación de las pérdidas por evaporación y en los coeficientes de escorrentía para estimar las pérdidas laterales. Utiliza como datos de entrada valores medios mensuales de precipitación y proporciona la percolación y la escorrentía también de carácter mensual. La percolación resultante es considerada en su totalidad como lixiviado.

La infiltración mensual (I) en la cobertera la calcula restando la escorrentía mensual (R) a la precipitación mensual (W_P):

$$I = W_P - R$$

La escorrentía puede ser calculada a partir de la precipitación según la fórmula:

$$R = c \cdot W_P$$

donde c es un coeficiente de escorrentía que se obtiene a partir de la tabla propuesta (Tabla 3.1) por Fenn *et al.* (1975).

La evapotranspiración potencial (ETP), que depende de la temperatura media, del índice de calor y de las horas de sol, se calcula a partir de la tablas confeccionadas por Thornthwaite & Mather (1957). Una vez calculada, puede obtenerse la percolación acumulada (ver capítulo 3, apartado 3.3.1).

Se trata de un modelo muy simplista que no tiene en cuenta en el cálculo los flujos laterales (producido en capas situadas sobre otras de muy baja permeabilidad. Dichas capas se disponen al objeto de poder drenar tanto aguas de infiltración, en el caso de vertederos clausurados, como los lixiviados generados en todo tipo de vertederos, activos o clausurados). Tampoco tiene en cuenta el tipo de cubierta, las características de almacenaje de las basuras dentro del vertedero ni la efectividad de las capas aislantes. Este modelo ha sido ampliamente superado por el modelo HELP que es mucho más realista. Sin embargo, su

relativa simplicidad lo ha hecho muy atractivo durante muchos años y todavía se utiliza con cierta regularidad.

CREAMS

El modelo "Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems" (CREAMS) fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de USA (Knisel, 1980) para modelizar la escorrentía y la erosión, principalmente para usos agrícolas. No ha sido utilizado mucho en vertederos y ha sido ampliamente superado por otros modelos (por el HELP, por ejemplo). Sin embargo, sus componentes hidrológicos forman la base para el desarrollo de modelos posteriores tales como el HSSWDS y HELP. Es un modelo unidimensional que considera únicamente el transporte vertical. No modela el flujo lateral. El coeficiente de escorrentía es estimado usando el método "Número de Curva de Escorrentía-SCS" (USDA, 1972). La evapotranspiración se calcula mediante la fórmula de Penman modificada. El modelo calcula la escorrentía, evapotranspiración, percolación y el almacenamiento de la humedad del suelo de forma diaria. Por contra, no considera procesos que ocurren en el interior del vertedero, tales como la adsorción o el goteo de las capas aislantes.

HSSWDS

El modelo "Hydrologic Simulation Model for Estimation Percolation at Solid Waste Disposal Sites" (HSSWDS) fue desarrollado para la EPA americana por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército del mismo país (Perrier & Gibson, 1980; Schroeder & Gibson, 1982). Se trata de un modelo unidimensional basado en los componentes hidrológicos del modelo CREAMS y que tiene las mismas limitaciones que dicho modelo. Desde la introducción del modelo HELP, este modelo ha dejado prácticamente de usarse. Al igual que el CREAMS, no considera los procesos que tienen lugar en el interior del vertedero.

RSM

El modelo RSM (Rainfall Simulation Model) fue desarrollado por Gee (1981;1983;1986), en la Universidad de Wisconsin, Madison. Se trata de un modelo empírico que está basado en análisis de regresión de datos de lluvias, escorrentía y percolación procedentes de un vertedero real (Gee, 1981), varios lisímetros exteriores de residuos y de experimentos de infiltración a escala. Gee propone varias ecuaciones de regresión logarítmicas y lineales que varían en su grado de especificidad según los suelos particulares que había estudiado y según los resultados obtenidos de percolación y escorrentía. Los resultados de una de sus ecuaciones y su comparación con los resultados obtenidos mediante los métodos HELP, HSSWDS y EPA-1975 fue abordada por Bass (1986). La ecuación era de la forma:

$$PERC = \exp (K + \beta_1 \cdot \ln W_P + \beta_2 \cdot \ln W_i + \beta_3 \cdot \ln Y_d + \beta_4 \cdot \ln a)$$

donde:

K, ß: coeficientes de regresión.

W_P: precipitación.

W_i: contenido de humedad inicial del suelo.

Y_d: densidad seca de la cubierta del suelo.

a: pendiente de la superficie del vertedero (%).

Esta ecuación y las distintas modificaciones presentadas por Gee (1986), presentan ciertas limitaciones en su aplicación a vertederos clausurados (como otros de los modelos, estas ecuaciones no tienen en cuenta los procesos que tienen lugar en el interior de los vertederos). A pesar de ello, la ecuación indicada líneas arriba proporcionó resultados similares a los obtenidos mediante otros métodos a la hora de predecir la generación de lixiviados en un lisímetro experimental a lo largo de 3 años (Gee, 1986).

UNSAT-H

Diseñado por Fayer & Jones (1990), técnicos del "Pacific Northwest Laboratory" (Richland, Washington) para el departamento de Energía de USA. Para este modelo, la ecuación del balance hídrico se expresaría de la forma:

$$W_P+W_{IR}-E-T-R-P=\Delta S$$

donde:

W_P: precipitación.
W_{IR}: irrigación.
E: evaporación.
T: transpiración.
R: escorrentía superficial.
P: drenaje (o percolación).
ΔS: cambios de la humedad almacenada durante el periodo considerado.

En este modelo se interpretan los procesos que suceden en la zona no saturada de diferente forma a como se hace en el modelo HELP. Entre otras diferencias con el modelo HELP cabe destacar:

- Además del flujo gravitacional, también tiene en cuenta el flujo capilar, que es un proceso relativamente importante especialmente en zonas áridas. Al tener en cuenta los dos tipos de flujo, las cantidades resultantes de percolación (lixiviado), serán menores para este modelo que para el HELP si todos los demás factores son iguales.

- La manera de discretizar los niveles de suelo de coberteras intermedias o finales es diferente. En este caso, los distintos parámetros que caracterizan a los tipos de suelos, la humedad por ejemplo, pueden cambiar de valor dentro de cada nivel, mientras que en el HELP el valor de cada parámetro ha de ser el mismo para todo el nivel.

- Cuantifica de distinta manera las diferencias no-lineales entre la humedad del suelo, la tensión del suelo y la conductividad hidráulica no saturada, pudiendo utilizar varias relaciones funcionales incluyendo las de Brooks and Corey y las de van Genutchen. Por contra, el HELP únicamente utiliza las ecuaciones de Brooks and Corey necesitando como datos de entrada los valores de la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y la porosidad.

ERAIN

En el Reino Unido, el modelo ERAIN, usado por la empresa Aspinwall (Knox, 1991), calcula la lluvia efectiva. No modela el vertedero de forma completa ya que no incluye los

procesos de drenaje lateral, la percolación a través de los niveles aislantes ni la absorción de aguas por parte de los residuos. Permite al usuario las opciones de especificar los porcentajes de precipitación que son interceptados por la vegetación, perdidas por escorrentía superficial o que cortocircuitan el sistema de humedad del suelo. El cálculo de la lluvia efectiva está basado en el método de Grindley (1969) y utiliza valores de lluvia diaria así como valores diarios o mensuales de evapotranspiración potencial.

GOLDER

El modelo utilizado por la empresa GOLDER Associates (UK) consta de dos partes. La primera de ellas calcula un perfil anual de lluvia efectiva mensual. Para ello utiliza un procedimiento similar al usado en el modelo ERAIN aunque en este caso genera estimaciones mensuales. La segunda parte calcula la producción de lixiviados. Para ello se asume que la lluvia efectiva percola en diferentes proporciones según se trate de áreas activas o ya clausuradas del vertedero:

áreas activas	100%
suelo desnudo	100%
cubierta de arcilla	33%
cubierta de HDPE	20% (HDPE: polietileno de alta densidad)

La absorción de los residuos es considerada como una simple etapa del proceso, esto es, un periodo en el que el flujo no ocurre hasta que la capacidad de absorción primaria es superada. El usuario debe introducir los valores de los residuos vertidos, de la capacidad de absorción y de las áreas que están activas o clausuradas. Una vez cumplidos estos requisitos, el modelo calcula la producción de lixiviados en la base del vertedero.

Una característica inusual de este modelo es que tiene en cuenta el grado de incertidumbre existente en los datos de entrada. Así, el modelo tiene incorporadas una serie de funciones de probabilidad que permiten al usuario especificar la variabilidad de los componentes del balance hídrico. También supone que muchos componentes poseen distribuciones normales, utilizando de forma especial el valor medio y la desviación estándar de los valores de entrada. De esta forma calcula los volúmenes mensuales de lixiviados generados a lo largo del tiempo para cualquier grado de incertidumbre especificado.

Modelo WRC (Water Research Centre)

Este modelo ha sido desarrollado por el Water Research Centre (UK) (Blakey, 1990). Requiere menor cantidad de datos que la mayoría de los modelos. Tiene incorporados modelos de distribución diaria para la lluvia y la evapotranspiración potencial. El usuario sólo introduce los valores medios anuales totales para estos dos parámetros. El modelo calcula la lluvia efectiva (ER) de forma similar a la empleada por el Servicio Meteorológico del Reino Unido con el programa MORECS (Thompson *et al.*, 1981). No se considera el drenaje lateral en suelos de cobertera. La escorrentía se estima por medio de coeficientes de escorrentía (se incorporan valores por defecto similares a los propuestos por Chow (1964) aunque el usuario tiene la opción de sobrepasarlos). También se usa un modelo simple para determinar la capacidad de absorción: el usuario especifica los valores para el contenido en humedad inicial,

capacidad de campo, contenido de humedad en saturación, así como la densidad de los residuos y la tasa de vertido. Finalmente, el modelo calcula los lixiviados generados mensualmente. Este modelo no está disponible aún para usos particulares y únicamente se ha utilizado en proyectos llevados a cabo por algunas empresas privadas del Reino Unido.

CANZIANI & COSSU (1989); RIJTEMA *et al.* (1986)

Canziani & Cossu (1989) describen un algoritmo que modela la evapotranspiración, escorrentía, percolación y absorción de agua por los residuos. Produce estimaciones mensuales de los lixiviados generados. Estos autores compararon las predicciones de su modelo con los lixiviados generados durante tres años en un vertedero holandés así como con las predicciones de otro modelo diseñado por Rijtema *et al.* (1986), de características similares pero que además incluía el cálculo de las pérdidas a través de la base del vertedero. En dos de los tres años ambos modelos subestimaban la producción de lixiviados durante los meses de verano. En los meses de invierno, el modelo italiano sobrestimaba las cantidades generadas entre un 50-100%, mientras que el modelo holandés generaba resultados bastante exactos.

Discusión

La mayoría de los modelos representan de forma incompleta los procesos que tienen lugar en el vertedero. Así, procesos de importancia fundamental (el drenaje lateral, la percolación a través de la cobertera, la absorción de humedad por parte de los residuos) son enteramente omitidos o tratados de forma demasiado empírica; por ejemplo, los coeficientes de escorrentía para eventos de precipitación con periodos de retorno de 10 años utilizados para estimar las perdidas laterales son claramente insatisfactorios. Aquellos modelos que tienen en cuenta la absorción de agua por parte de los residuos muestran que es un componente de gran importancia que puede tener un considerable efecto sobre los valores de salida del modelo.

Por otra parte, en ninguno de los modelos se ha realizado una suficiente calibración de las predicciones de los mismos con datos reales de vertederos. Además, la mayoría de los estudios de calibración realizados están basados en sistemas muy simples como lisímetros o celdas experimentales en donde el drenaje lateral no se tiene en cuenta y en donde los residuos se encontraban cerca de la capacidad de campo, no teniendo la importancia debida la absorción de humedad de los residuos. Sólo el modelo HELP incorpora todos los componentes importantes que intervienen en el balance hídrico de un vertedero y los representa usando los mejores métodos actualmente disponibles. Sin embargo, presenta varias desventajas a la hora de usarlo en nuestro entorno:

- Ha sido objeto de muy pocas calibraciones detalladas, no disponiéndose de ninguna información referente a calibraciones desarrolladas en nuestro entorno geográfico.

- No tiene en cuenta el grado de incertidumbre existente en los datos de entrada, a diferencia del modelo GOLDER.

4.7.2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO HELP

4.7.2.1. ASPECTOS GENERALES

El modelo HELP es un modelo cuasi-bidimensional desarrollado para la EPA americana

por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército del mismo país. La primera versión se empezó a usar en 1982, publicándose la documentación completa en 1984 (Schroeder *et al.*, 1984a,b). Esta versión sólo podía utilizarse en grandes ordenadores, siendo a partir de 1988 cuando está disponible la versión 2 válida para ordenadores personales (Schroeder *et al.*, 1988a,b). Actualmente está disponible la versión 3, HELP.3, (Schroeder *et al.*, 1994a,b), claramente mejorada respecto a las versiones anteriores.

Está basado en parte en los modelos "Hydrologic Simulation Model for Estimation Percolation at Solid Waste Disposal Sites" (HSSWDS) (Perrier & Gibson, 1980; Schroeder & Gibson, 1982), "Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems" (CREAMS) (Knisel, 1980) y "Simulator for Water Resources in Rural Basins" (SWRRB) (Williams *et al.*, 1985).

Se considera cuasi-bidimensional puesto que contiene un modelo de drenaje vertical unidimensional y otro modelo de drenaje lateral también unidimensional que se enlazan en la base de los niveles de drenaje lateral o en la parte superior de los niveles-barrera situados en el sistema de cobertera o debajo de los residuos.

Este modelo es una herramienta desarrollada específicamente con objeto de ayudar en el proceso de evaluación y comparación de posibles alternativas en el diseño de un vertedero. Al mismo tiempo, el modelo proporciona una predicción bastante exacta de los distintos componentes del balance hídrico. En general, la exactitud y precisión del modelo está limitada por la incertidumbre y la variabilidad de las propiedades de los materiales existentes en los vertederos.

El modelo HELP ha sido desarrollado para ser aplicado a vertederos totalmente controlados, con una perfecta canalización que evite el paso de aguas de escorrentía procedentes de zonas adyacentes. Actualmente es el modelo más realista de los existentes. Sus principales ventajas sobre sus precursores son que tiene en cuenta los procesos de flujo lateral, los flujos a través de los niveles-barreras y el hecho de que modela sistemas multicapa.

Datos de entrada

El modelo HELP.3 requiere para su utilización tres tipos diferentes de datos de entrada: datos climatológicos, datos sobre las características de los materiales vertidos, y datos referentes al diseño del vertedero.

Datos climatológicos

Los datos climatológicos requeridos son de 4 tipos: de precipitación, temperatura, radiación solar, y de evapotranspiración.

Todos estos datos deben ser introducidos por el usuario siempre que trabajemos con vertederos no situados en USA (para vertederos situados en USA el modelo puede tomarlos de bases de datos propias).

Se requieren datos diarios, como mínimo correspondientes a un periodo de un año, de temperatura (valores medios) y de precipitación y radiación solar (acumulados). También se

requieren datos que afectan a la evapotranspiración (profundidad de la zona de evaporación, latitud, tipo de vegetación, inicio y final del periodo de crecimiento, velocidad media anual del viento y humedad relativa media en los 4 trimestres del año).

Datos sobre las características de los materiales vertidos

Básicamente, los datos de este tipo que deben introducirse para cada sección del vertedero son:

- número de capas. Para cada capa:
  - tipo de capa: de percolación vertical, de drenaje lateral, tipo-barrera, o geomembrana.
  - espesor de cada capa.
  - textura de cada capa: porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez, y conductividad hidráulica saturada (el modelo HELP.3 dispone de una base de datos propia que contiene dichos datos para 42 tipos de suelos/materiales habituales, incluidos R.S.U.). Opcionalmente puede especificarse el contenido de humedad inicial de cada capa (el modelo puede calcular estos valores realizando una pasada previa en la que se considera que todas las capas se encuentran en situación de capacidad de campo; los valores de humedad finales se consideran entonces los valores de humedad iniciales en la pasada definitiva).

Datos sobre el diseño del vertedero

La superficie del vertedero se divide en subzonas o secciones de características homogéneas. El modelo requiere datos de las superficies de cada una de estas secciones, sus pendientes, y los porcentajes de esas superficies en los que es posible la escorrentía. También requiere las pendientes y las máximas distancias de drenaje para todas las capas de drenaje lateral existentes en cada sección del vertedero. En caso de que se recirculen los lixiviados debe especificarse el porcentaje y sobre qué capa se realiza la operación.

Datos de salida

El modelo HELP.3, una vez realizado el balance hídrico sobre todas y cada una de las capas que forman la sección considerada, puede proporcionar hasta 5 tipos de respuestas referentes a los diferentes procesos modelados:

-Valores diarios (opcional).
-Valores mensuales totales.
-Valores anuales totales.
-Valores medios de los valores mensuales y anuales totales para el periodo simulado.
-Valores máximos diarios para el periodo simulado.

4.7.2.2. REPRESENTACIÓN DE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS

En general, los procesos hidrológicos modelados por el programa pueden ser divididos en dos categorías: procesos superficiales y procesos subsuperficiales.

Los procesos superficiales modelados son:

Fusión de nieve.
Intercepción de la lluvia por parte de la vegetación.
Escorrentía superficial.
Evaporación superficial.

Los procesos subsuperficiales modelados son:
Evaporación del suelo.
Transpiración de las plantas.
Drenaje vertical en la zona no saturada.
Percolación a través de los niveles tipo-barrera.
Drenaje lateral en zona saturada.

La infiltración diaria en el interior del vertedero se determina indirectamente por medio de un balance de agua superficial. Cada día, la infiltración se considera equivalente a la suma de la lluvia y fusión de nieve menos la suma de escorrentía y evaporación superficial. Estos dos últimos procesos son en parte función de la intercepción. La precipitación en días con temperatura media menor de 0° C se considera como nieve y es añadida al almacenamiento de nieve superficial, el cual puede disminuir tanto por fusión como por evaporación superficial.

La fusión de nieve es calculada usando el procedimiento utilizado en el modelo SNOW-17 (Anderson, 1973). La intercepción de la lluvia por parte de la vegetación se modela por el método de Horton (1919) mientras que la escorrentía superficial se estima mediante el método del número de curva SCS (USDA, 1972).

La evaporación superficial, al igual que los otros dos componentes de la evapotranspiración (evaporación del suelo y transpiración de las plantas) se calcula mediante una modificación de la fórmula de Penman (Ritchie, 1972).

Durante el cálculo de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas (evapotranspiración sub-superficial) también se tiene en cuenta las variaciones estacionales de la vegetación por medio de un modelo de crecimiento vegetativo extraído del modelo SWRRB (Arnold *et al.*, 1989).

El drenaje vertical en la zona no saturada se asume que cumple la ley de Darcy. La permeabilidad en este medio se obtiene por la fórmula de Campbell (1974) que está basada a su vez en el modelo de Brooks & Corey (1964). La percolación a través de los niveles-barrera, que se considera que permanecen siempre saturados, también se asume que cumple la ley de Darcy, al igual que los flujos que se producen a través del suelo y capas de basura. Por último, el drenaje lateral en niveles de drenaje se modeliza utilizando una aproximación analítica de la ecuación de Boussinesq.

4.7.3. APLICACIÓN DEL MODELO HELP EN EL VERTEDERO DE LAPATX

El modelo HELP.3 ha sido desarrollado para ser aplicado a vertederos totalmente controlados, con una perfecta canalización que evite el paso de aguas de escorrentía procedentes de zonas adyacentes. Esto supone una seria limitación en nuestro caso dada la existencia, como ya se ha explicado en apartados anteriores, de dos entradas de agua exterior. También debe recordarse el deficiente mantenimiento realizado en la zona del vertedero en la

que aún no se han realizado vertidos y que permite la entrada de aguas limpias a la red de drenaje de lixiviados.

Este modelo considera que las características físicas del vertedero especificadas por el usuario permanecen constantes a lo largo del periodo simulado, periodo que puede variar entre 1 y 100 años. Para modelizar el relleno progresivo de un vertedero activo deben realizarse pasadas sucesivas en las que se varían año a año las características del vertedero.

A pesar de estos inconvenientes se ha considerado muy interesante utilizar este modelo en el vertedero de Lapatx al objeto de comparar sus resultados tanto con los obtenidos en el apartado 4.6.3.3. mediante la realización de balances hídricos menos complejos como con los datos de generación de lixiviados medidos en este vertedero.

Se ha utilizado el modelo HELP.3 para calcular los diferentes componentes del balance hídrico a lo largo del año 1994 (no puede aplicarse a periodos inferiores a un año natural; por este motivo no se ha utilizado el periodo Septiembre.1994-Enero.1995, utilizado en los balances hídricos realizados en el apartado 4.6.3.3. Tampoco puede aplicarse a años hidrológicos). Se ha elegido este año por disponerse de datos climatológicos fiables y completos a largo del mismo.

No se han diferenciado secciones dentro del vertedero (áreas con diferentes tipos de vertidos, diferentes espesores, etc.). Se ha considerado, por tanto, que el comportamiento de la zona clausurada (de reducidas dimensiones, 0,4 ha) es idéntico al de las zonas activas. Entre las zonas activas tampoco se han diferenciado secciones en función del espesor de las mismas dado que se ha comprobado que los resultados que proporciona el modelo HELP.3 no varían si cambia el espesor de vertido en las magnitudes que se dan en este vertedero (5-6 m de máxima diferencia en el periodo considerado). Esto es así dado que al inicio del periodo modelado todas las capas se encuentran por encima de su capacidad de campo y debido a que las permeabilidades (conductividades hidráulicas) de los materiales vertidos son bastante altas. La suma de ambos factores hace que pequeñas diferencias de espesores de vertido no afecten a las cantidades finales de lixiviados generadas.

Como valor representativo medio del espesor de material vertido en el vertedero se ha considerado 16 m. En la Tabla 4.27 se muestra el perfil considerado, constituido por 14 capas de las que 6 son de escorias (de 20 cm de espesor) y otras 6 de R.S.U. (de 225 cm de espesor). En la capa nº 13 (55 cm de gravas y bloques) se drenan lateralmente los lixiviados. La capa inferior (75 cm de arcillas) constituye la única capa tipo-barrera existente en el vertedero. Como valores de porosidad total, capacidad de campo y punto de marchitez de estas capas se han tomado los que propone el modelo HELP.3 para este tipo de materiales (en el caso de las capas de R.S.U. se considera que en ellas se dan caminos preferenciales; el modelo permite elegir entre capas de R.S.U. con o sin caminos preferenciales).

Los datos climatológicos requeridos por el modelo se han introducido manualmente: los datos diarios de precipitación y temperatura proceden de la estación meteorológica instalada en el propio vertedero; los de velocidad media anual de velocidad de viento (10 km/h) y los de humedad relativa media en los 4 trimestres del año (81,1%; 77,9%; 81,2% y 83,7%) se han calculado también a partir de los valores diarios registrados por la estación situada en el

vertedero; los datos diarios de radiación solar proceden de la estación SVM (Museo del Niño de Azpeitia). Como profundidad de la zona de evaporación se ha considerado 50 cm.

Se han considerado 4 escenarios diferentes en los que los únicos datos de entrada que varían son los referentes a las conductividades hidráulicas de las capas consideradas (Tabla 4.27). Los resultados gráficos de los distintos componentes del balance hídrico a escala diaria se presentan en la Figura 4.43 así como el hidrograma de los lixiviados generados realmente a lo largo de 1994 en el vertedero al objeto de poder comparar los valores simulados con los reales registrados. Los resultados numéricos anuales de las modelizaciones realizadas se muestran en la Tabla 4.28 junto con los resultados mensuales de ETR y lixiviados generados correspondientes al periodo Septiembre-Diciembre.1994 (de estos meses también se dispone de los valores que toman estos componentes realizando el cálculo mediante los métodos descritos en el apartado 4.6.3.3 (Penman-Brutsaert y Thornthwaite).

Características comunes en todos los escenarios							Característica no común			
n° capa	Tipo (*)	Espesor (cm)	Material	Porosidad (vol/vol)	Capacidad de campo (vol/vol)	Pto. marchitez (vol/vol)	Conductividad hidráulica (cm/seg)			
							HELP-e.1	HELP-e.2	HELP-e.3	HELP-e.4
1	1	20	Escorias	0,437	0,062	0,024	1E-03	5,8E-03	5,8E-03	5,8E-02
2	1	225	RSU	0,168	0,073	0,019	1E-04	1E-03	5,8E-03	5,8E-02
3	1	20	Escorias	0,437	0,062	0,024	1E-03	5,8E-03	5,8E-03	5,8E-02
4	1	225	RSU	0,168	0,073	0,019	1E-04	1E-03	5,8E-03	5,8E-02
5	1	20	Escorias	0,437	0,062	0,024	1E-03	5,8E-03	5,8E-03	5,8E-02
6	1	225	RSU	0,168	0,073	0,019	1E-04	1E-03	5,8E-03	5,8E-02
7	1	20	Escorias	0,437	0,062	0,024	1E-03	5,8E-03	5,8E-03	5,8E-02
8	1	225	RSU	0,168	0,073	0,019	1E-04	1E-03	5,8E-03	5,8E-02
9	1	20	Escorias	0,437	0,062	0,024	1E-03	5,8E-03	5,8E-03	5,8E-02
10	1	225	RSU	0,168	0,073	0,019	1E-04	1E-03	5,8E-03	5,8E-02
11	1	20	Escorias	0,437	0,062	0,024	1E-03	5,8E-03	5,8E-03	5,8E-02
12	1	225	RSU	0,168	0,073	0,019	1E-04	1E-03	5,8E-03	5,8E-02
13	2	55	Gravas	0,417	0,045	0,018	1E-02	1E-02	1E-02	5,8E-02
14	3	75	Arcillas	0,427	0,418	0,367	1E-08	1E-07	1E-07	1E-07

(*): 1: drenaje vertical; 2: drenaje lateral; 3: tipo barrera.

Tabla 4.27. Datos de entrada para los diferentes escenarios considerados. Modelo HELP.3.

De la observación conjunta de la Tablas 4.27 y 4.28 y de la Figura 4.43 pueden extraerse varias conclusiones:

- A nivel anual, las cantidades evaporadas y las cantidades de lixiviados generadas son muy similares en los 4 escenarios considerados.

La ETR varía entre 550,5 y 578,7 mm (entre el 36,9 y 38,8% de la precipitación registrada). Estos valores, en cambio, son sensiblemente inferiores a los obtenidos aplicando el método de Thornthwaite (746,5 mm), si bien hay que tener en cuenta que este valor es un valor potencial y no real.

Los lixiviados generados varían entre 880,7 y 910,6 mm (59,1 y 61,1 % de la precipitación registrada). Estas cantidades suponen unos caudales anuales medios de 1,40 y 1,45 l/seg respectivamente si consideramos 5 ha como área generadora de lixiviados. Estos caudales medios son claramente inferiores al valor medio registrado (3,3 l/seg). Para igualar los valores medios sería necesario considerar como área generadora de lixiviados el valor de 11-12 ha (más del doble del área real).

1994	**HELP-e.1**	**HELP-e.2**	**HELP-e.3**	**HELP-e.4**	**Thornthwaite**
Precipitación (mm)	1490,4 (100%)				
ETR (mm)	578 (38,8%)	574,1 (38,5%)	572 (38,4%)	550,5 (36,9%)	746,5 (ETP)
Lixiviados (mm)	910 (61,1%)	880,7 (59,1%)	882,8 (59,2%)	907,4 (60,9%)	
Pérdidas (mm)	3 (0,25%)	35,5 (2,4 %)	35,5 (2,4%)	32,5 (2,2%)	

	Septiembre	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**	**Total (mm)**	**Escenario**
ETR (mm)	53,7	43,0	24,6	18,4	139,7	HELP-e.1
ETR (mm)	53,7	43,1	24,6	18,4	139,7	HELP-e.2
ETR (mm)	53,6	43,1	24,6	18,5	139,7	HELP-e.3
ETR (mm)	54,5	43,1	24,7	18,5	140,9	HELP-e.4
ETR (mm)	65,8	52,8	29,7	18,7	167,0	Penman-Brutsaert
ETR (mm)	62,2	58,6	38,3	26,5	185,6	Thornthwaite (diario)
Lixiviados (mm)	47,8	38,8	30,8	25,8	143,1	HELP-e.1
Lixiviados (mm)	17,9	57,4	80,2	56,1	211,5	HELP-e.2
Lixiviados (mm)	20,5	85,6	61,4	100,2	267,6	HELP-e.3
Lixiviados (mm)	41,6	87,5	65,1	143,6	337,8	HELP-e.4
Lixiviados (mm)	84,4	48,1	38,4	181,5	352,4	Penman-Brutsaert
Lixiviados (mm)	107	24,8	40,8	157	329,6	Thornthwaite (diario)

Tabla 4.28. Resultados anuales y mensuales proporcionados por el modelo HELP.3. Comparación con los resultados obtenidos mediante otros métodos.

- Llama la atención el hecho de que en todos los escenarios se deduce la existencia de percolación por debajo de la capa de arcillas situada en el fondo del vertedero. Las cantidades percoladas varían entre 3,5 y 35,5 mm (0,25 a 2,4% de la precipitación registrada). Este es un dato totalmente novedoso dado que hasta ahora se suponía que la totalidad de los lixiviados generados eran recogidos por la red de drenaje existente. Aunque las cantidades percoladas no son muy importantes, el hecho de que puedan producirse indicaría que la impermeabilización de la que dispone el vertedero no es suficiente como para poder garantizar el drenaje correcto de todos los lixiviados generados.

- A nivel mensual los valores de ETR obtenidos para los meses Septiembre a Diciembre de 1994 en los 4 escenarios considerados son prácticamente idénticos (la mayor diferencia obtenida es de 0,9 mm, en Septiembre). Estos valores son comparables, aunque algo menores, a los obtenidos mediante el método de Penman-Brutsaert (obtenidos realizando el balance del suelo a intervalos de media hora y considerando como máxima retención de humedad 50 mm). La mayor diferencia se da también en Septiembre (12,2 mm con respecto al escenario 3). En cambio, para Diciembre se obtienen valores muy parecidos (0,3 mm de máxima diferencia). Las diferencias son, sin embargo, mayores con respecto a los valores obtenidos mediante Thornthwaite (realizando el balance del suelo a intervalo diario y considerando como máxima retención de humedad 50 mm). En este caso, las diferencias pueden alcanzar los 15,6 mm (mes de Octubre).

Los valores acumulados obtenidos de "lixiviados generados" en los 4 escenarios considerados son muy diferentes entre sí. En los 3 primeros meses las diferencias pueden ser superiores al 100% mientras que en el último mes (Diciembre) pueden ser del 500% (25,8 mm en el escenario 1 frente a 143,5 mm en el escenario 4). También se dan importantes diferencias con respecto a los valores obtenidos mediante Penman-Brutsaert y Thornthwaite (realizando el

balance del suelo de la forma comentada en el párrafo anterior). Los valores totales correspondientes al periodo Septiembre-Diciembre también son muy diferentes (143,1 mm en el escenario 1 frente a 337 mm en el escenario 4).

Los resultados acumulados obtenidos en el escenario 4 son comparables con los obtenidos realizando el balance hídrico aplicando Thornthwaite (329 mm) y Penman-Brutsaert (352 mm).

- A nivel diario (Figura 4.43), los valores de ETR obtenidos en los distintos escenarios son prácticamente idénticos salvo en los meses más secos (Mayo a Agosto). En cambio, difieren considerablemente con respecto a los calculados mediante Penman-Brutsaert, especialmente durante la primera quincena de Septiembre en la que según este último método la ETR es despreciable al considerar que el suelo permanece seco durante ese periodo.

Los lixiviados generados a nivel diario también difieren considerablemente según el escenario considerado. En las dos gráficas centrales de la Figura se muestran los resultados de los 4 escenarios considerados así como el hidrograma real del vertedero.

En el escenario 1 se ha considerado que los R.S.U. poseen una conductividad hidráulica de 10^{-4} cm/seg (valor máximo deducido de la recopilación bibliográfica realizada; ver Tabla 3.3) y que las escorias estaban fuertemente compactadas (conductividad hidráulica de 10^{-3} cm/seg). El hidrograma resultante en este escenario difiere totalmente del hidrograma real.

En el escenario 2 se ha considerado que los R.S.U. y las escorias poseen las conductividades hidráulicas propuestas por el modelo HELP.3 para este tipo de materiales (10^{-3} cm/seg y $5{,}8 \cdot 10^{-3}$ cm/seg respectivamente). El hidrograma resultante tampoco es comparable al real aunque se empieza a apreciar un retraso menor de las crecidas con respecto al hidrograma del escenario anterior.

En el escenario 3 se ha considerado que tanto los R.S.U. como las escorias poseen una conductividad hidráulica de $5{,}8 \cdot 10^{-3}$ cm/seg (se considera, por tanto, que la conductividad hidráulica de los R.S.U. es 5,8 veces superior a la propuesta por el modelo HELP.3). En este caso, el hidrograma resultante presenta bastantes similitudes con respecto al hidrograma real, si bien sigue apreciándose un desfase entre las principales crecidas del orden de unos 7 días.

Por último, en el escenario 4, se ha considerado que tanto los R.S.U. como las escorias y las gravas de la capa nº 13 poseen una conductividad hidráulica de $5{,}8 \cdot 10^{-2}$ cm/seg (se considera, por tanto, que la conductividad hidráulica de los R.S.U. y escorias es 10 veces superior a la considerada en el escenario anterior). El ajuste entre el hidrograma simulado y el hidrograma real puede considerarse como aceptable (el ajuste no mejora si aumentamos la conductividad hidráulica a 10^{-1} cm/seg). Sigue existiendo un pequeño desfase entre las crecidas reales y simuladas, especialmente cuando las primeras se producen tras periodos sin lluvias, que se considera relacionado con el tiempo que tarda el agua infiltrada en superar la capacidad de campo de las capas superficiales tras los periodos secos y posiblemente con la dificultad en modelizar por parte del HELP.3 el proceso de pérdida de humedad en la vertical del vertedero, proceso que condiciona la conductividad hidráulica vertical (ésta disminuye). La existencia de caminos preferenciales puede también ayudar a explicar tales desfases.

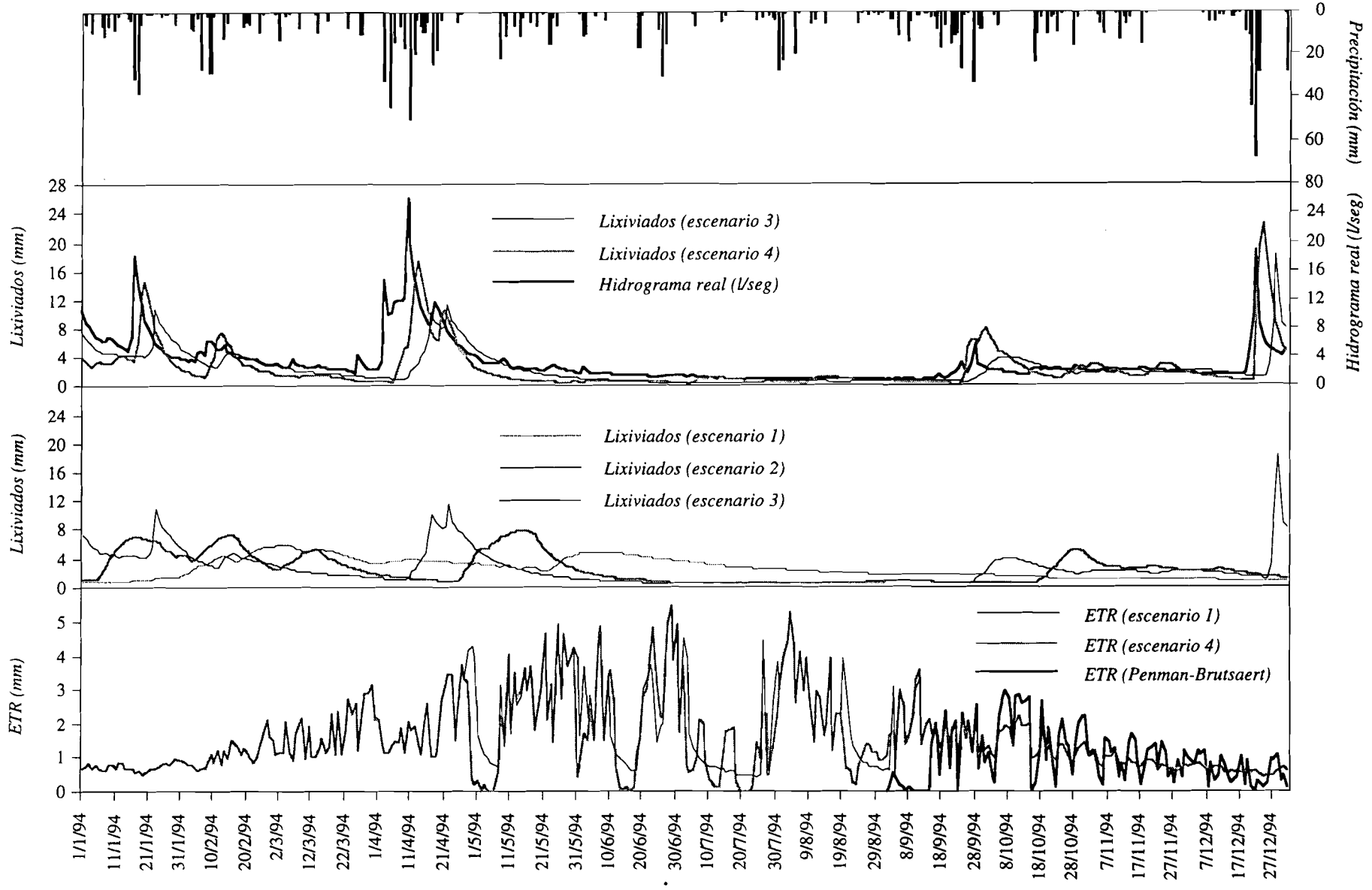


Figura 4.43. Resultados del modelo HELP.3. Evolución diaria de los principales componentes del balance hídrico. Vertedero de Lapatx. Periodo: año 1994.

El hidrograma real mostrado en la Figura 4.43 aparece en l/seg. Los caudales representados equivaldrían a mm de lixiviados (1 l/seg día sería igual a 1 mm/día) si el área generadora de lixiviados fuese de 86.400 m^2. Si considerásemos el área real generadora de lixiviados, unas 4,8 ha, el hidrograma de lixiviados, en mm, sería paralelo al mostrado pero de valores claramente superiores.

Con la suposición hecha de que el área generadora de lixiviados es de unas 8,6 ha llegamos a la conclusión de que el hidrograma simulado en el escenario 4 se ajusta aceptablemente al hidrograma real no sólo en la forma sino también en las magnitudes de los caudales diarios, siendo este ajuste entre los valores diarios mayor en el segundo semestre del año.

En definitiva, los resultados proporcionados por el modelo HELP.3 en el vertedero de Lapatx permiten concluir lo siguiente:

- El modelo HELP.3 se muestra como una herramienta válida a la hora de obtener información sobre los diferentes componentes del balance hídrico en el vertedero de Lapatx y contrastarla con la obtenida por otros procedimientos.

- Se vuelve a poner de manifiesto el exceso de lixiviados que se está produciendo en la actualidad en este vertedero: el área teórica generadora de lixiviados sería de 4,8 ha mientras que es preciso recurrir a un área superior a 8 ha (e incluso a 11 ha) para ajustar las cantidades teóricas con las registradas.

- Es posible que la impermeabilización de la que dispone el vertedero no sea suficiente como para garantizar la ausencia de infiltración de lixiviados en el sustrato rocoso. En cualquier caso las pérdidas correspondientes son pequeñas.

- El mejor ajuste entre los caudales diarios simulados y registrados (escenario 4) se consigue considerando que tanto los R.S.U. como las escorias y gravas tienen una conductividad hidráulica de $5{,}8 \cdot 10^{-2}$ cm/seg. Este valor está dentro de los valores lógicos pero es superior a los obtenidos en el estudio bibliográfico (Tabla 3.3., en m/seg) y a los propuestos por el modelo HELP.3. La explicación de este hecho puede relacionarse con la existencia de caminos preferenciales y con el "factor escala" (la conductividad hidráulica de los R.S.U. depende del volumen de muestra tenida en cuenta en el ensayo realizado). Así, a nivel de "vertedero" los valores de este parámetro son superiores a los obtenidos en ensayos realizados en laboratorio o en lisímetros, donde el volumen de muestra considerado es muchísimo menor (los valores propuestos por el modelo HELP.3 así como algunos de los recopilados en este trabajo se basan en ensayos de este tipo). Este fenómeno también ha sido puesto de manifiesto en diferentes tipos de acuíferos (Carreras, 1991).

- El valor de $5{,}8 \cdot 10^{-2}$ cm/seg de conductividad hidráulica debe ser considerado como un valor "equivalente", es decir, como un valor medio del conjunto del vertedero.

4.8. CONCLUSIONES

Diferencias y semejanzas entre los hidrogramas de Lapatx y Góngora

- En ambos casos se aprecia la clara dependencia de la evolución de los caudales con las precipitaciones registradas, produciéndose aumentos significativos de caudal a lo largo de los mismos días en que tienen lugar las precipitaciones. Se deduce, por tanto, que los tiempos de respuesta son muy cortos (menos de un día) para eventos de precipitación no excesivamente importantes. En el caso de Lapatx, en el que se dispone de datos a intervalos horarios, el desfase entre los comienzos de las precipitaciones y de los aumentos de caudal es de tan sólo 1-2 horas y de unas 2-4 horas el existente entre el pico de lluvia y el pico de caudal, dependiendo de la distribución de la primera. En Góngora es probable que ocurra algo similar.

- En Góngora, precipitaciones aisladas del orden de 2-5 mm generan normalmente incrementos de caudal distinguibles en los hidrogramas, mientras que en Lapatx son necesarios, en general, precipitaciones aisladas superiores a 8-10 mm para provocar aumentos de caudal. Esta diferencia se debe fundamentalmente a los diferentes caudales de base existentes en ambos vertederos, claramente inferiores en Góngora en comparación a los de Lapatx.

- Los aumentos de caudal se producen muy rápidamente en ambos vertederos (curvas casi verticales). En cambio, las curvas de decrecida presentan diferencias. Mientras que en Góngora son también prácticamente verticales, en Lapatx estas curvas son menos pronunciadas. Queda patente la diferencia entre el comportamiento del agua infiltrada en el interior de ambos vertederos. Esta forma de los picos pone en evidencia la importancia, mayor en Góngora que en Lapatx, de la infiltración rápida de gran parte de las lluvias caídas sobre el vertedero.

- Las variaciones de caudal son muy importantes en los 2 vertederos, aunque en el caso de Lapatx éstas son más evidentes. Los caudales generados son claramente superiores en el vertedero de Lapatx que en el de Góngora. La entrada de ciertas cantidades de agua procedente del exterior del vertedero debido a defectos puntuales en el diseño del canal perimetral puede ayudar a explicar estas variaciones tan grandes de caudal en Lapatx.

- El caudal medio en Lapatx es de 3,16 l/seg (54 m^3/ha día, considerando 5 ha como área generadora de lixiviados) mientras que en Góngora es de 0,81 l/seg (30 m^3/ha día, considerando 2,3 ha como área generadora de lixiviados). Los caudales mínimos son de 0,35 l/seg y de 0,01 l/seg respectivamente. En Góngora, en ausencia de lluvias durante varios días, los caudales de base no sobrepasan los 0,5 l/seg. Los caudales punta también son muy superiores en Lapatx (> 44 l/seg por < 24 l/seg en Góngora).

- La amplitud de los periodos en los cuales los caudales se mantienen influenciados por las precipitaciones también es diferentes en estos vertederos. Para el caso de precipitaciones aisladas en Lapatx, las influencias de las precipitaciones desaparecen por término medio a los 2-3 días de haberse producido el pico de caudal, es decir, los caudales drenados por el vertedero vuelven a ser los mismos que antes de que se produjese la crecida, mientras que en Góngora las influencias desaparecen normalmente al día siguiente.

- Las influencias de series de precipitaciones sucedidas a lo largo de periodos largos se comprueba que depende en ambos vertederos, por una parte, y como es lógico, de la cantidad de agua precipitada, y por otra, del caudal base inicial. Así, cuanto mayor sea este último, menor será la influencia de las precipitaciones. El número de días influenciados por estos eventos de precipitación varía en Lapatx entre 11 y 26 días para precipitaciones comprendidas entre 60 y 298 mm, mientras que en Góngora rondan los 3-4 días para precipitaciones comprendidas entre 89,4 y 111,4 mm, si bien en un caso (con datos dudosos de caudal) se mantienen durante 13 días para un precipitación acumulada de 158,4 mm.

- En Lapatx, cuando las precipitaciones constituyen una serie, la primera precipitación importante provoca, con desfases muy cortos (1-2 horas), un rápido aumento de caudal, con curvas de crecida casi verticales. Las sucesivas precipitaciones importantes de la serie también pròvocan crecidas pero su forma tiende a ser algo más tendida que la de la primera. Los caudales se mantienen muy poco tiempo con valores elevados. Durante estos periodos lluviosos todas las precipitaciones intermedias medianamente importantes así como los periodos sin lluvias o con lluvias escasas, quedan reflejados en el hidrograma con desfases de muy pocas horas (2-4 horas).

- También en Lapatx, cuando las precipitaciones se producen en forma de nieve, los hidrogramas toman formas claramente diferentes. Estas formas de precipitación no provocan crecidas rápidas y casi verticales como la mayoría de las lluvias, sino que ocasionan un mantenimiento de los caudales en los valores precedentes a lo largo de varios días.

- Se deduce que en ambos vertederos se produce una rápida infiltración de las aguas de precipitación a través de los materiales depositados en los vertederos así como una rápida evacuación de las mismas, especialmente en el caso de Góngora. Esta mayor velocidad de infiltración en Góngora puede estar relacionada con el hecho de que en dicho vertedero los residuos vertidos son mayoritariamente de tipo orgánico (alta permeabilidad), mientras que en Lapatx también se vierten cantidades importantes de escorias y residuos industriales inertes (de permeabilidad menor). La posible existencia de vías preferenciales dentro de los vertederos también ayudan a explicar este tipo de comportamientos.

- Queda patente, a nivel de valores de caudales medios mensuales y de aportaciones, la gran variabilidad existente. En Lapatx los valores mayores son unas 20 veces superiores a los menores, mientras que en Góngora los son del orden de 15 veces. Los rangos de variación dentro de cada mes son mucho más elevados en ocasiones, especialmente en los meses lluviosos, en los que los valores máximos de caudal pueden ser de hasta más de 30 veces (Lapatx) y 70 veces (Góngora) superiores a los mínimos.

- Analizando la evolución de las aportaciones registradas en cada mes a lo largo de los años sucesivos se observa, en ambos vertederos, que hay una relación directa con las precipitaciones registradas (a mayores precipitaciones, mayores aportaciones), salvo raras excepciones.

- Esta relación directa entre precipitaciones-aportaciones a nivel mensual se hace bastante menos evidente al considerar conjuntamente toda la información. Así, al presentar todos los meses completos ordenados según las precipitaciones ocurridas en los mismos, se comprueba que las aportaciones correspondientes a esos meses, aunque tienden en líneas generales hacia

valores cada vez mayores, pueden en bastantes casos no cumplir la condición supuesta. Esto es debido, sin duda, a que la aportación de lixiviados registrada a lo largo de un mes no depende únicamente de la precipitación ocurrida en ese mismo mes, sino que también está condicionada por las precipitaciones registradas en periodos anteriores. De todo esto se deduce que los balances hídricos en estos vertederos, con vistas a igualar entradas y salidas, conviene realizarlos considerando periodos superiores a un mes.

Relaciones precipitación-caudal en San Marcos y Sasieta

- Como en el caso de los vertederos de Lapatx y Góngora, en San Marcos las evoluciones de caudal están fuertemente condicionadas por las precipitaciones caídas sobre el vertedero. Incluso precipitaciones aisladas poco importantes (del orden de 5 mm provocan incrementos de caudal apreciables. Los desfases existentes entre las precipitaciones y los consiguientes aumentos de caudal son menores de un día (no se dispone de datos de precipitación a intervalos horarios). Cabe pensar que el desfase será de muy pocas horas, como lo era en el vertedero de Lapatx.

- Durante el periodo controlado, los menores valores de caudal rondan los 5 l/seg (33 m^3/ha día, considerando 13 ha como área generadora de lixiviados). Estos caudales registrados en periodos sin lluvias son muy similares a los registrados en condiciones equivalentes en el vertedero de Lapatx (menores de 2 l/seg; menores de 34,5 m^3/ha día, considerando 5 ha como área generadora de lixiviados). La ausencia de este tipo de información referente a otros vertederos de la zona impide generalizar estos valores de producción de lixiviados en condiciones de estiaje, si bien supone, al menos, un valor de referencia para posteriores investigaciones.

- Los aumentos de caudal se producen muy rápidamente, siendo las curvas resultantes prácticamente verticales. Las curvas de decrecida son algo más tendidas, de nuevo muy parecidas a las que se apreciaban en los hidrogramas de Lapatx (en general, con la información disponible, cabe asemejar el funcionamiento hídrico del vertedero de San Marcos al de Lapatx). Los aumentos son tan elevados que sobrepasan en múltiples ocasiones el umbral máximo de medida para el que había sido diseñado el aforador Parshall (40 l/seg).

- Estos aumentos tan desproporcionados de caudal se ha comprobado que están relacionados con la inexistencia de canal perimetral en un sector superior del vertedero, lo que posibilita la entrada de importantes cantidades de agua procedentes de un área situada aguas arriba de ese sector del vertedero. La realización de balances hídricos en este vertedero queda totalmente condicionada por la existencia de esta importante entrada de aguas externas al mismo.

- Respecto al vertedero de Sasieta, cabe decir que, tanto los anormalmente bajos caudales medios obtenidos (del orden de 0,019 l/seg) como la ausencia de relaciones entre caudales medios-precipitaciones, nos hacen dudar de la representatividad de la información de partida. Se estima como probable el hecho de que se produzcan pérdidas importantes de lixiviados (infiltración en el subsuelo, entradas de lixiviados a la galería que discurre por el fondo de la vaguada sobre la que emplaza el vertedero y que tiene como misión evacuar las aguas de escorrentía superficial, pérdidas en la tubería de lixiviados antes de alcanzar el depósito, pérdidas en el mismo depósito, etc.).

Evolución general de parámetros físico-químicos. Vertederos de Lapatx y San Marcos

- En ambos vertederos puede comprobarse cómo cualquier incremento mínimamente importante de caudal va acompañado de descensos apreciables tanto de temperatura como de conductividad. Esto es así, tanto si las variaciones de caudal se deben a precipitaciones aisladas o no, y es independiente de que ocurra en periodos de aguas altas o bajas.

- Estos descensos de temperatura y conductividad se producen más o menos rápidamente según se produzcan las crecidas. Los desfases entre las puntas de caudal y los valores mínimos de temperaturas son muy pequeños, de 1 hora como mucho. En cambio, en ocasiones, los desfases con los mínimos de conductividad pueden incluso aproximarse a las 2 horas.

- En el caso de que se tengan series consecutivas de crecidas de importancia similar, se observa que los máximos descensos de temperatura y conductividad se producen asociados a la primera crecida. Durante las posteriores crecidas, los descensos son menores y se producen de forma más suave. Las recuperaciones de los valores de temperatura y conductividad se realizan en todos los casos de forma muy progresiva, sólo perturbándose en el caso de que se produzcan nuevas precipitaciones.

- Estos descensos de temperatura y conductividad ponen en evidencia los procesos de mezcla que tienen lugar en el interior del vertedero entre importantes cantidades de aguas de lluvia, más frías y de baja conductividad eléctrica y que se infiltran rápidamente, con los lixiviados ya existentes en el interior del vertedero.

- A escala diaria, los descensos de temperatura pueden ser, en Lapatx, superiores a 2°C y en San Marcos a 4-6°C, mientras que los de conductividad pueden ser superiores a 1 y 4 mS/cm respectivamente.

- En Lapatx, la temperatura media diaria del periodo controlado es de 16,76°C. El valor mínimo es de 13,04°C, siendo el máximo de 19,3°C. Respecto a la conductividad, el valor medio es de 2,11 mS/cm, el mínimo de 0,82 mS/cm y el máximo de 3,59 mS/cm. Los rangos de variación dentro de cada mes también son importantes, pudiendo alcanzar los valores de 2,45 mS/cm y de 5,33°C.

- En San Marcos el valor medio de la temperatura es de 17,05°C (varían entre 10,8 y 19,43°C). Los valores de conductividad durante periodos en los que no se producen lluvias de consideración son del orden de 5-5,5 mS/cm. Estos valores son muy superiores a los registrados en circunstancias similares en los lixiviados de Lapatx, en los que se rondan los 2 mS/cm.

- En Lapatx se aprecia, a escala anual, además de una clara ciclicidad de la temperatura de los lixiviados, una cierta ciclicidad en la evolución de la conductividad. También se aprecia una tendencia hacia valores crecientes con el tiempo de la temperatura (los valores medios de un mismo mes en años sucesivos sufren aumentos más o menos considerables). Por contra, los valores medios mensuales de conductividad de un mismo mes en años sucesivos sufren ligeros descensos (tendencia decreciente).

- En San Marcos, a lo largo de algunos periodos pueden apreciarse ciclicidades de temperatura de los lixiviados a lo largo de los días, que parecen responder a la influencia de la temperatura ambiental.

- En cuanto a los registros de pH, oxígeno disuelto y potencial redox obtenidos en el vertedero de San Marcos, debe decirse que no se tiene mucha seguridad sobre la validez de los datos dado los abundantes problemas de mantenimiento habidos. Los 3 parámetros parecen comportarse inversamente a como lo hacen la temperatura y la conductividad, es decir, se relacionan directamente con el caudal. En el caso de O_{2dis} y redox, parece lógico este comportamiento, al contener las aguas de infiltración rápida cantidades considerables de O_{2dis} que hacen aumentar el contenido relativo de O_{2dis} de los lixiviados así como disminuir las condiciones reductoras de los mismos. El valor medio del potencial redox ronda los -286 mV, mientras que los valores de O_{2dis} suelen aproximarse a 0 salvo en momentos de altos caudales, en los que pueden alcanzar los 3,8 mg/l.

- Los registros de pH correspondientes a los lixiviados de Lapatx se han considerado anómalos en su totalidad al resultar el sensor instalado poco apropiado para su control en este tipo de efluentes.

Métodos de estudio

- La metodología empleada normalmente para la investigación hidrodinámica de sistemas hidrológicos (cuencas vertientes, acuíferos) se ha mostrado totalmente aplicable para el caso de los vertederos de R.S.U. La información suministrada por los distintos métodos de análisis empleados (análisis correlatorio y espectral, análisis de la curva de caudales clasificados, curvas de recesión, secuencias crecida-decrecida, descomposición de hidrogramas, etc.) cabe considerarla como muy importante, permitiendo avanzar en el conocimiento de la compleja hidrodinámica del sistema.

- Se observa congruencia en la información suministrada por los análisis correlatorios y espectrales (ACE) efectuados tanto con series de datos referentes al vertedero de Lapatx como al de Góngora. Los correlogramas simples ponen de manifiesto el carácter prácticamente aleatorio de las precipitaciones. Sus efectos memoria rondan los 1-3 días. Para los caudales, los efectos memoria deducidos varían entre 8-13 y 23-24 días en Lapatx, siendo de 17-25 en Góngora. Los correlogramas cruzados (imágenes de los hidrogramas unitarios) son, en todos los casos, estrechos y puntiagudos, evidenciando una respuesta muy rápida del sistema.

- Los resultados obtenidos en los ACE-II y III (Lapatx) son muy parecidos indistintamente de que se utilicen como datos de precipitación de partida los correspondientes a la estación Azkoitia-Iberdrola o de Lapatx, a pesar de que las cantidades de lluvia recogidas en ambas estaciones puede, en periodos concretos, diferir notablemente. Se comprueba también que los ACE-III y IV (realizados a partir de la misma información con la diferencia de que en el segundo caso se han utilizado valores cada 12 horas en vez de diarios) proporcionan resultados equivalentes, a pesar de que el número de registros de las series del ACE-III pueda parecer en principio insuficiente (190 registros).

- Las diferencias encontradas entre los ACE efectuados en Lapatx (diferentes efectos memoria, tiempos de regulación, etc.) cabe atribuirlas a las diferentes formas de distribución

de las lluvias durante los periodos analizados. En los ACE-III y IV, en los que se obtienen los mayores efectos memoria, las lluvias se concentran de forma especial a lo largo de un corto periodo de tiempo.

- Ambos vertederos pueden considerarse como sistemas poco inerciales. Curiosamente, el comportamiento de estos sistema es similar al de los acuíferos kársticos sensu stricto, con redes de conductos bien desarrollados y jerarquizados. En estos casos, el papel de la red de conductos sería realizado por las redes de drenaje de lixiviados.

- Del estudio de las curvas de frecuencias acumuladas de los caudales diarios se deduce el predominio neto de los caudales bajos sobre los altos en los vertederos de Lapatx y Góngora, aunque con especial intensidad en este último, donde el 83,01% de los valores son inferiores a 1 l/seg mientras que en Lapatx lo son el 11,94% (en este caso el 44,5% de los valores son inferiores a 2 l/seg y el 68,9% a 3 l/seg).

- En los 5 periodos en los que se ha aplicado la metodología de descomposición química de hidrogramas, en el vertedero de Lapatx, se ha obtenido contribuciones muy importantes del caudal de base (aportación de lixiviados sensu stricto). El porcentaje de estas contribuciones está comprendido entre el 62,1 y el 85,5%. Estos valores son más altos que los referenciados por otros autores para pequeñas cuencas hidrológicas.

Balances hídricos

- La realización de balances a partir de datos mensuales no es la más apropiada, al menos en los casos estudiados. Debe procurarse realizar los balances a partir de datos correspondientes a intervalos menores (horarios o cada media hora si es posible) y trabajar luego con valores acumulados a intervalos mayores que un mes. Como valores de precipitación deben utilizarse los registrados en el mismo vertedero siempre que sea posible. Por otra parte, cabe resaltar el hecho de que los valores de ETP y ETR mensuales obtenidos mediante el método de Penman-Brutsaert (acumulando los valores correspondientes a cada intervalo de media hora) son del orden de 10-15% menores que los obtenidos por el método de Thornthwaite.

- Sólo se ha calculado el balance hídrico en el vertedero de Lapatx dado que en el resto, o bien no se controlaban los caudales generados, o los datos existentes no son del todo representativos (Góngora, San Marcos y Sasieta).

- En el vertedero de Lapatx, el balance más equilibrado se consigue, para el periodo estudiado, considerando unas 8 ha como área generadora de lixiviados, 50 mm como máximo de retención de humedad del suelo, calculando la ETP mediante el método de Penman-Brutsaert y realizando el balance a intervalos de media hora. Se llega a la conclusión, por tanto, de que, suponiendo que estas últimas consideraciones son acertadas, en este vertedero se están produciendo unas cantidades de lixiviados que corresponderían a un vertedero de las mismas condiciones pero con un área activa del orden de un 70% superior al área activa actual, que es de 4,8 ha (el área total del vertedero es de 9,2 ha).

- El modelo HELP.3 se muestra como una herramienta válida a la hora de obtener información sobre los diferentes componentes del balance hídrico en el vertedero de Lapatx.

- Los resultados obtenidos de aplicar este modelo vuelven a poner de manifiesto el exceso de lixiviados que se está produciendo en la actualidad en este vertedero: el área teórica generadora de lixiviados sería de 4,8 ha mientras que es preciso recurrir a un área superior a 8 ha (e incluso a 11 ha) para ajustar las cantidades teóricas con las registradas.

- El mejor ajuste entre los caudales diarios simulados y registrados se consigue considerando que tanto los R.S.U. como las escorias tienen una conductividad hidráulica de $5{,}8 \cdot 10^{-2}$ cm/seg (valor superior a los obtenidos en el estudio bibliográfico). Este valor debe ser considerado como un valor "equivalente", es decir, como un valor medio del conjunto del vertedero.

4.9. RECOMENDACIONES

Generales para vertederos de R.S.U.

- El control en continuo de los caudales que se generan en los vertederos de R.S.U. debe considerarse como un factor primordial para la correcta gestión de estas instalaciones de tratamiento de residuos. El correcto mantenimiento de los sistemas de drenaje tanto de aguas superficiales como de lixiviados también debe ser objeto de especial atención.

- La instalación de una estación meteorológica en terrenos del mismo vertedero también se considera conveniente al objeto de disponer de información realmente válida respecto a variables que condicionan la generación de lixiviados, como son la precipitación, temperatura, humedad, velocidad de viento y radiación solar.

- Los aforadores o canaletas elegidas para la medición de los caudales de lixiviados deben elegirse teniendo en cuenta las especiales características de los lixiviados (suelen arrastrar partículas finas que se sedimentan en el fondo de los aforadores modificando por tanto las medidas efectuadas). Por ello, se recomiendan aforadores autolimpiables o en su defecto la realización de labores de mantenimiento a intervalos cortos (de varios días).

- Controlar en continuo parámetros físico-químicos (temperatura, conductividad, pH u otros) de cara a caracterizar adecuadamente el quimismo de los lixiviados con vistas a diseñar correctamente las plantas depuradoras futuras de estos efluentes. Para ello, es conveniente disponer, dentro de la arqueta de control, de un emplazamiento específico para colocar los sensores, por ejemplo, un pequeño pozo de profundidad variable (20-30 cm) apartado del lugar de la canaleta en donde se controlan los caudales (para evitar influencias), y en el que pueden colocarse los distintos sensores verticalmente, sin tocar el fondo, y fijados a estructuras móviles (para facilitar las labores de mantenimiento).

- En todo caso, el mantenimiento de los sensores debe ser continuado, siendo necesario proceder a comparaciones periódicas de los valores registrados por los sensores con los de otros aparatos portátiles convenientemente calibrados, y llevar a cabo recalibraciones en caso de que se observen diferencias apreciables.

- De la elección correcta de los sensores depende en gran medida el mayor o menor éxito del estudio. Es recomendable utilizar sensores robustos, con pocas zonas delicadas en las que puedan incrustarse las partículas sólidas que arrastran los lixiviados, y que sean fáciles de limpiar. También debe procurarse que las partes sensibles de los sensores estén situadas en el

exterior de los mismos y no dentro de orificios existentes en el sensor, que son susceptibles de ser taponados. En este sentido, cabe decir que los sensores utilizados en este estudio no han sido los más indicados y que, por tanto, en posteriores trabajos de esta naturaleza debe procurarse emplear sensores que reúnan las características citadas anteriormente y que actualmente ya suministran varias casas comerciales.

- El sistema de alimentación de las estaciones de control también es un factor fundamental. En caso de que estén conectadas a la red eléctrica, debe contarse con protectores contra sobretensiones y rayos que tienen como misión salvaguardar la integridad de las estaciones y de los sensores. Es recomendable que las estaciones dispongan de baterías internas que cubran las necesidades de alimentación de las mismas en casos de cortes de suministro eléctrico.

- El análisis, al menos preliminar, de los datos registrados por las estaciones de control conviene realizarlo cada poco tiempo (menos de una semana o incluso diariamente). Este análisis permite poner de manifiesto posibles problemas con los sensores (registros anómalos, ausencia de registro), y a otro nivel, proporciona información sobre el correcto funcionamiento de elementos claves del vertedero (correcto funcionamiento de los canales perimetrales, de la red de drenaje de lixiviados, etc.).

- Los balances hídricos conviene hacerlos periódicamente con vistas a comprobar si se mantienen las relaciones precipitaciones-caudales o si por el contrario cambian de forma considerable con el tiempo.

- Se recomienda la utilización del modelo HELP.3 con vistas a obtener información sobre los componentes del balance hídrico. Esta información debe ser comparada con los resultados obtenidos en los balances hídricos realizados mediante otros procedimientos.

- Se recomienda la publicación de los resultados obtenidos en los estudios efectuados en este tipo de vertederos al objeto de consolidar la bibliografía relativa a estos temas.

Específicas para los vertederos estudiados

- Se recomienda ampliar el control en continuo tanto de parámetros físico-químicos (por ejemplo, temperatura, pH y conductividad) como de caudales de lixiviados generados en todos los vertederos que en la actualidad se encuentran en activo, con mayor atención en aquellos que según la Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia van a tener una mayor proyección futura (Lapatx, San Marcos y Sasieta). Incluso sería interesante controlar estos parámetros en uno de los dos vertederos clausurados (Ventas y Petritegi) al objeto de obtener información sobre la evolución de los mismos una vez cesado el vertido de residuos y realizadas las obras de sellado y recuperación paisajística, y tenerlo como referencia para estimar la evolución futura en los actuales en activo, una vez clausurados.

- En el vertedero de Sasieta, se considera imprescindible comprobar el buen funcionamiento del sistema de drenaje de lixiviados y la posibilidad de infiltraciones al subsuelo así como controlar de forma exhaustiva los volúmenes de lixiviados generados, en caso de que no pueda abordarse la instalación de un caudalímetro con vistas a medir en continuo los caudales generados.

- Se recomienda también en este vertedero, así como en el de Urteta, controlar el quimismo de las aguas evacuadas por las galerías de drenaje existentes en el fondo de las vaguadas sobre las que se emplazan los vertederos dado que es posible que se produzcan infiltraciones de lixiviados. Este sistema de drenaje de aguas superficiales se considera problemático por dicho motivo. Se recomienda estudiar la posibilidad de drenar todas las aguas superficiales mediante canales perimetrales y reconvertir las galerías en componentes adicionales de los sistemas de drenaje de lixiviados.

- En el vertedero de Lapatx se deberían realizar obras de mejora en los sectores del canal perimetral que en la actualidad funciona deficientemente. En cuanto al vertedero de San Marcos, se considera prioritario completar el canal perimetral de forma que se elimine la entrada de las grandes cantidades de aguas de escorrentía superficial que en la actualidad penetran en él.

- Debido a que existen algunas dudas sobre la validez de los datos de caudal durante algunos periodos en el vertedero de Góngora, sería necesario seguir estudiando la evolución de los mismos durante periodos más amplios, especialmente a partir del momento en que las aguas residuales generadas en las instalaciones del centro de tratamiento (labores de reciclaje, lavadero de camiones, etc.) pasen a verterse al conducto principal de lixiviados después, y no antes, de la arqueta de control.

- En el vertedero de San Marcos también se recomienda seguir estudiando la evolución de los caudales durante periodos más amplios dado el escaso volumen de información existente.

- Se considera conveniente la instalación, al menos en uno de los vertederos, de un evapotranspirómetro al objeto de disponer de datos más fiables de evapotranspiración en vertederos, o incluso de una parcela experimental en la que también podría controlarse la infiltración, la temperatura en la superficie del vertedero y a diferentes profundidades, etc.

- También sería muy interesante instalar, en varios vertederos, por ejemplo en uno de los activos y en otro de los clausurados, piezómetros para medir los niveles de lixiviados de cara a ajustar modelos de generación de lixiviados.

- Dado que se dispone de pocos datos, y no excesivamente precisos, referentes a las evoluciones en los lixiviados de los parámetros pH, oxígeno disuelto y potencial redox, se estima conveniente proseguir con su control en varios vertederos (por ejemplo, en Lapatx y San Marcos) durante periodos más continuados a fin de conocer con precisión su comportamiento durante diferentes condiciones hidrológicas.

CAPÍTULO 5

CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN VERTEDEROS DE R.S.U.

5.1. Introducción 5.1

5.2. Descripción del proceso de degradación en vertederos de R.S.U. 5.1
5.2.1. Factores que favorecen la degradación 5.6

5.3. Parámetros físico-químicos 5.8
5.3.1. Parámetros indicadores 5.8
5.3.2. Contaminantes específicos 5.10
5.3.2.1. Iones mayoritarios 5.11
5.3.2.2. Metales 5.12

5.4. Factores que afectan a la composición del lixiviado 5.15
5.4.1. Composición de la basura 5.15
5.4.2. Composición del resto de materiales vertidos y relación R.S.U./resto de materiales 5.17
5.4.3. Sistema de explotación 5.18
5.4.4. Edad del vertedero 5.19
5.4.5. Tasa de entrada de agua (natural o artificial) 5.21
5.4.6. Geometría del vertedero 5.21
5.4.7. Condiciones climáticas. Temperatura del vertedero 5.21
5.4.8. Técnicas de muestreo, conservación y técnicas analíticas 5.22

5.5. Estimación de la contaminación potencial 5.22

5.6. Composición físico-química de los lixiviados. Recopilación bibliográfica 5.24

5.7. Evolución de la composición físico-química de los lixiviados 5.30

5.8. Contaminantes orgánicos prioritarios 5.35
5.8.1. Posibles mecanismos de transferencia 5.38

5.9. Composición microbiológica 5.39

5.10. Modelos de composición de lixiviados 5.40

5.1. INTRODUCCIÓN

Las aguas de lixiviación de los vertederos de residuos sólidos urbanos (R.S.U.) son, en muchos casos, altamente contaminantes, razón por la que en los últimos años se han dedicado numerosos esfuerzos a estudiar su composición e identificar los factores (tipos de residuos, explotación, etc.) que afectan a la misma.

Las investigaciones realizadas han puesto de manifiesto una fuerte variabilidad en la calidad de los lixiviados entre distintos vertederos, distintas formas de operación, etc., si bien en líneas generales se puede afirmar que las cargas contaminantes en estas aguas de lixiviación, siempre que no hayan tenido lugar diluciones significativas, son más altas que las habituales en aguas residuales domésticas e industriales.

Son bastantes los parámetros o indicadores químicos que se incrementan en las aguas de lixiviación con respecto a las aguas limpias de entrada al vertedero. La complejidad de los procesos que condicionan dicha composición hace que no pueda hablarse de unas características específicas como cuando nos referimos a otros tipos de efluentes. A pesar de ello, sí puede hablarse de algunos parámetros que normalmente dan una idea bastante buena del grado de toxicidad de los lixiviados. Entre éstos destacan los Sólidos en Suspensión (S.S.), conductividad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), NH_4^+, Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Cl^- y Fe, siendo probablemente la conductividad, DQO, Cl^- y Fe (con valores de pH no elevados) los más claramente identificadores de posibles afecciones al entorno.

Así mismo, se encontrarán metales pesados y compuestos orgánicos prioritarios, en mayor o menor proporción, cuando dichos metales y compuestos estén presentes entre los componentes de la basura.

Entre los principales mecanismos que provocan una transferencia de material entre la basura y el agua destacan el arrastre de materiales (principalmente partículas) por parte del agua percolante, la disolución de sales solubles presentes en la basura y la descomposición o estabilización de la basura, es decir, el paso de material orgánico biodegradable a formas gaseosas y solubles.

De todos los procesos que tienen lugar en un vertedero, son los relativos a la descomposición de la basura los que de una forma más decisiva definen la naturaleza de los lixiviados. Este aspecto se trata con amplitud en el apartado siguiente.

5.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN EN VERTEDEROS DE R.S.U.

La disposición de R.S.U. en un vertedero controlado da lugar a un proceso complejo que se desarrolla en varias fases y que se prolonga por espacio de décadas hasta culminar con la estabilización de los residuos vertidos.

Cada fracción del residuo (materia orgánica, vidrio, papel y cartón,..) se ve afectada por un conjunto de procesos de transformación diferentes a lo largo de la vida del vertedero. De estas fracciones es la orgánica, sin duda, la que mayor transformación sufre,

fundamentalmente de tipo anaerobio, produciéndose durante la misma los lixiviados de mayor carga contaminante.

Son muchos los autores (Farquhar & Rovers, 1973; Christensen & Kjeldsen, 1989; Barlaz & Ham, 1993) que han estudiado el proceso de degradación de un vertido en el caso supuesto de un vertido único que se deja evolucionar. La mayor parte de estas experiencias se han llevado a cabo en laboratorios mediante pequeños lisímetros o en vertederos construidos a escala, siendo por tanto bastante discutible la extrapolación de los resultados obtenidos a casos de vertederos reales. Otros aspectos que limitan la validez de estas experiencias son:

- La escasa información dada en ocasiones por los autores sobre la composición de los residuos utilizados para el experimento y sobre las condiciones climáticas imperantes (temperatura, entradas de agua consideradas, evaporación,..).

- El hecho de que recirculen los lixiviados durante dichos experimentos.

En todo caso, en un vertedero controlado real en el que se vierten residuos normalmente todos los días, nos encontraríamos ante una continua superposición de fases, dado que no tendríamos una única edad sino un conjunto de edades asociada cada una de ellas a cada sección o incluso celda del vertedero, donde las condiciones físicas, químicas y microbiológicas serán determinantes en el quimismo final de los lixiviados formados en cada sección o celda.

Por otra parte, la identificación de estas fases en vertederos de nuestro entorno (vertederos controlados de Gipuzkoa y Navarra) se ve dificultada por el hecho de que los lixiviados muestreados son mezcla de los lixiviados formados en todas las secciones activas y/o ya clausuradas del mismo.

El número de fases diferenciadas por distintos investigadores varía entre tres y seis o más (Barlaz & Ham, 1993), debiéndose esta diferencia a la variabilidad de datos disponible por cada autor y a los objetivos concretos de cada estudio en particular.

A continuación se hace referencia a los estudios realizados por Pohland *et al.* (1985), uno de los más completos realizados sobre este aspecto, en los que diferencian las cinco fases que se detallan seguidamente. Así mismo, también se consideran las investigaciones al respecto realizadas por Robinson (1989) y por Stanforth *et al.* (1979), recogido por Ibáñez & Lema (1986), en las que aunque sólo diferencian tres fases: aerobia, anaerobia acetogénica y anaerobia metanogénica, coinciden con los primeros autores en la descripción básica de los principales procesos.

En las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3 se muestran las evoluciones idealizadas de distintos parámetros durante las fases de estabilización de un volumen homogéneo de basuras según distintos autores. La tercera de ellas (Christensen & Kjeldsen, 1989) está basada en parte en Farquhar & Rovers (1973) y Ehrig (1988). La explicación de la evolución de los parámetros que aparecen en estas figuras se realiza en la descripción de cada fase.

1. Descomposición aerobia inicial

De duración variable, pero en general corta (hasta pocos días o semanas) debido a la limitada cantidad de oxígeno disponible. Durante esta fase la materia orgánica fácilmente degradable se descompone aeróbicamente generando CO_2. El lixiviado generado en esta fase, en caso de que se produzca, se caracteriza por la fuerte presencia de sólidos arrastrados, altas concentraciones de sales solubles y bajas cantidades de especies orgánicas.

Respecto a la duración de esta fase, Robinson (1989) afirma que aunque normalmente sólo dura unos días o semanas, en algunos casos puede persistir durante largos periodos produciéndose cantidades significativas de CO_2. Esto ocurriría en el caso de depósitos de basuras de poco espesor (menos de 3 m) donde el aire puede entrar con facilidad. Podrían producirse en este caso cantidades importantes de H_2, sobre todo si el lugar permanece seco.

2. Comienzo de la descomposición anaerobia. Fase de transición

El proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica es un proceso microbiano complejo, compuesto por diversas reacciones paralelas secuencialmente interdependientes.

Tras alcanzarse y sobrepasarse la capacidad de campo del vertedero se inicia la lixiviación. Comienzan a aparecer ácidos grasos volátiles (AGV) de alto peso molecular como resultado de la hidrólisis de los compuestos orgánicos por parte de las bacterias fermentativas y acetogénicas y se establecen unas condiciones reductoras tras convertirse la estabilización microbiana aerobia en anaerobia.

Yuen *et al.* (1995), representan de forma simplificada (Figura 5.4) los procesos de degradación que se suceden bajo condiciones anaerobias, incluyendo los diferentes grupos de bacterias presentes en este ecosistema particular.

3. Fase anaerobia ácida

En esta fase se dan altas concentraciones de AGV de menor peso molecular originados a partir de los de mayor peso molecular debido a la continua hidrólisis de los residuos (Hertig *et al.*, 1993). También se produce ácido acético, H_2 y CO_2. Estos ácidos rebajan notablemente el pH, lo que ayuda a solubilizar materiales inorgánicos. Son normales por ello las altas concentraciones de iones inorgánicos (Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+). Todo ello hace que la conductividad aumente. La relación DBO_5/DQO también es alta (la elevada presencia de AGV contribuye a la gran DQO hallada en esta fase).

Los valores bajos de pH son debidos a los ácidos presentes y a la alta presión parcial del CO_2 generado (tanto en el comienzo de esta fase, como en la fase aerobia anterior). A su vez el medio ácido contribuye a la complejación y movilización de metales (son frecuentes altos niveles de Fe, Mn, Zn,..) y nutrientes bacterianos, como N y P, que serán utilizados para el crecimiento de la biomasa, así como a la solubilización de diversos compuestos (óxidos, hidróxidos y carbonatos). Entre los AGV se han encontrado en los lixiviados el acético, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico, y los ácidos hexanoicos (Ibáñez & Lema, 1986; Öman & Hynning, 1991).

Según Robinson (1989), esta fase puede durar años e incluso décadas. La DBO_5 de los lixiviados puede superar los 10.000 mg/l lo que indica que una gran proporción de los materiales orgánicos solubles se están degradando realmente. Las concentraciones de NH_4^+ rondan los 500-1.000 mg/l y el gas producido consta fundamentalmente de CO_2 y H_2 y de menores cantidades de CH_4.

4. Fase anaerobia metánica

Los productos intermedios de la fase anterior son convertidos en CH_4 y CO_2, disminuyendo la concentración orgánica de los lixiviados (DBO_5, DQO, TOC) a medida que aumenta la producción de gas. La composición del gas generado es aproximadamente de un 60% de CH_4 y un 40% de CO_2. Las concentraciones de NH_3 son elevadas.

El potencial redox alcanzará sus valores mínimos (máxima reducción) y los nutrientes bacterianos siguen consumiéndose con gran rapidez. El lixiviado presenta normalmente un pH próximo al neutro (pasa de un valor estable controlado por los AGV a otro característico de un sistema CO_3^{2-}/CO_3H^-), bajas concentraciones de sólidos (en suspensión y disueltos) y ácidos orgánicos, y bajas relaciones DBO_5/DQO. También se produce una precipitación de las especies metálicas con el sulfuro, desapareciendo del lixiviado. Con estos valores de pH pocas sustancias inorgánicas son solubilizadas y la conductividad disminuirá (Stanforth *et al.*, 1979).

Robinson (1989), sin embargo, afirma que sustancias inorgánicas como Cl^-, SO_4^{2-}, K^+, Na^+ pueden seguir lixiviándose de los residuos también durante esta fase De acuerdo con todos estos autores, el recirculado de lixiviados provoca un desarrollo más rápido de las bacterias anaeróbicas productoras de CH_4, lo que acelera la estabilización del vertedero. El tiempo requerido para que se alcance la fase metánica en el interior del vertedero es de unos 5 o 6 años (Ehrig, 1988), mientras que otros autores (Hertig *et al.*, 1993) estiman que puede alcanzarse incluso en algo más de un año.

5. Etapa final

Cesa la producción de biogas (los nutrientes bacterianos pueden llegar a ser limitantes). El O_2 y otras especies oxidantes pueden reaparecer incrementando el potencial redox. Los materiales orgánicos resistentes a la acción microbiana pueden ser convertidos en sustancias húmicas, que podrían removilizar los metales en cantidades menores.

En general, se considera que en esta etapa se ha alcanzado la estabilización del vertedero. En palabras de Belevi & Baccini (1989), se habría alcanzado el "estado de almacenamiento final" en el que las emisiones procedentes del vertedero habrían alcanzado la "calidad de almacenamiento final". A partir de este momento, no se produciría ningún impacto negativo sobre el medio ambiente circundante por parte del vertedero. Como hipótesis de trabajo consideran que no se provoca un impacto negativo al medio cuando las concentraciones emitidas al aire, agua o suelo no exceden el 120% de las concentraciones naturales adyacentes.

Otros autores, sin embargo, ponen en tela de juicio el concepto de "calidad de almacenamiento final" considerando que el impacto negativo producido por los vertederos

puede mantenerse durante bastantes decenios e incluso centenares de años especialmente en lo que se refiere a la emisión de contaminantes traza y específicos.

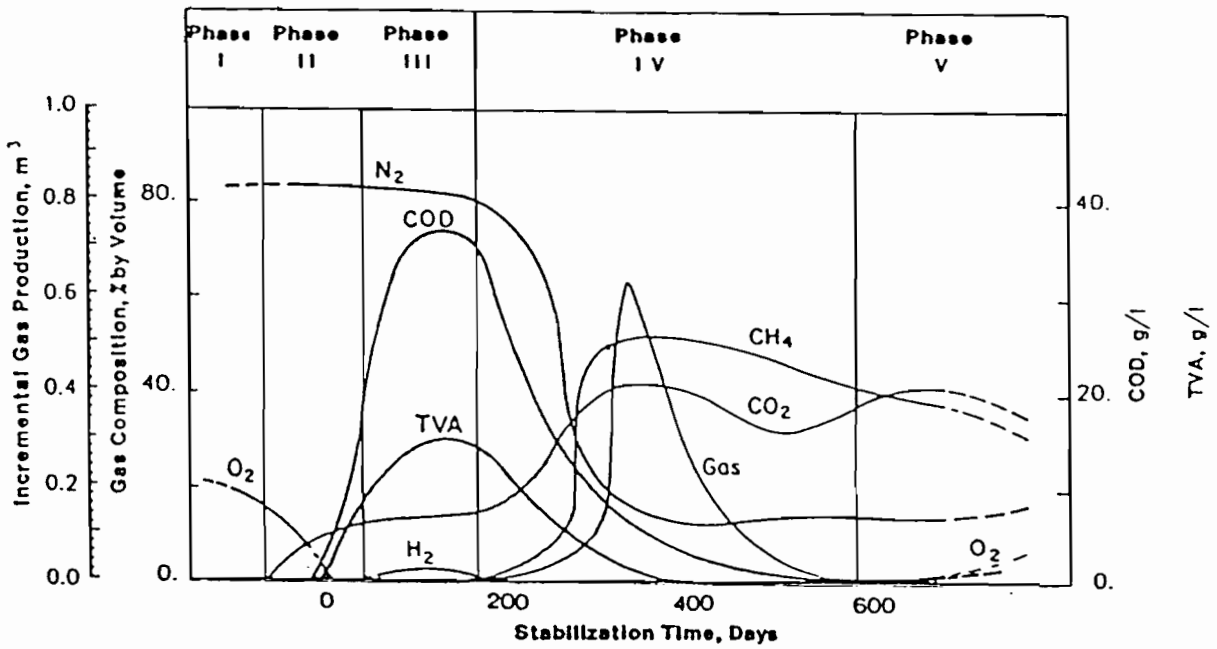


Figura 5.1. Cambios en los parámetros indicadores seleccionados (COD=DQO; TVA=ácidos grasos volátiles) durante las fases de la estabilización del vertedero (Pohland *et al.*, 1985).

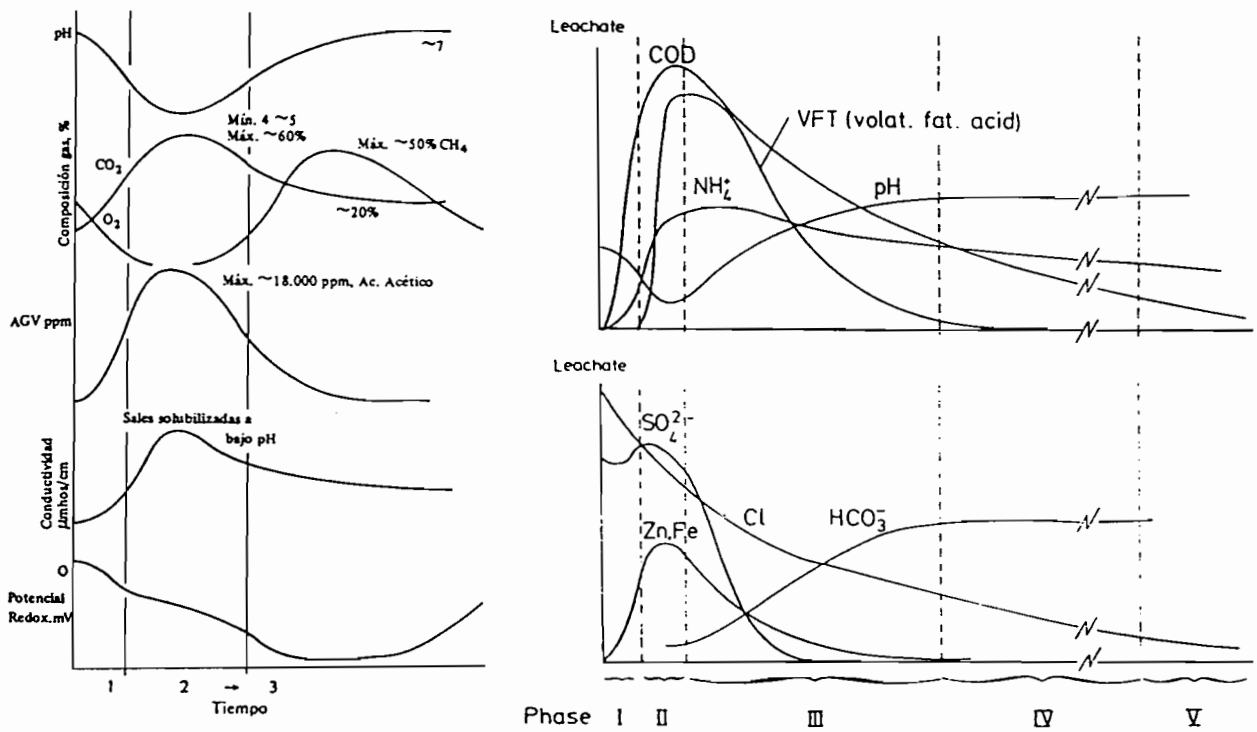


Figura 5.2 (izquierda). Cambios en los parámetros indicadores (AGV=ácidos grasos volátiles) según Stanforth *et al.* (1979): 1) fase aerobia, 2) fase anaerobia acetogénica y 3) fase anaerobia metanogénica.

Figura 5.3 (derecha). Evolución de la composición de los lixiviados (COD=DQO; VFT=ácidos grasos volátiles) a lo largo de las diferentes fases establecidas (Christensen & Kjeldsen, 1989; basado en parte en Farquhar and Rovers, 1973 y Ehrig, 1988).

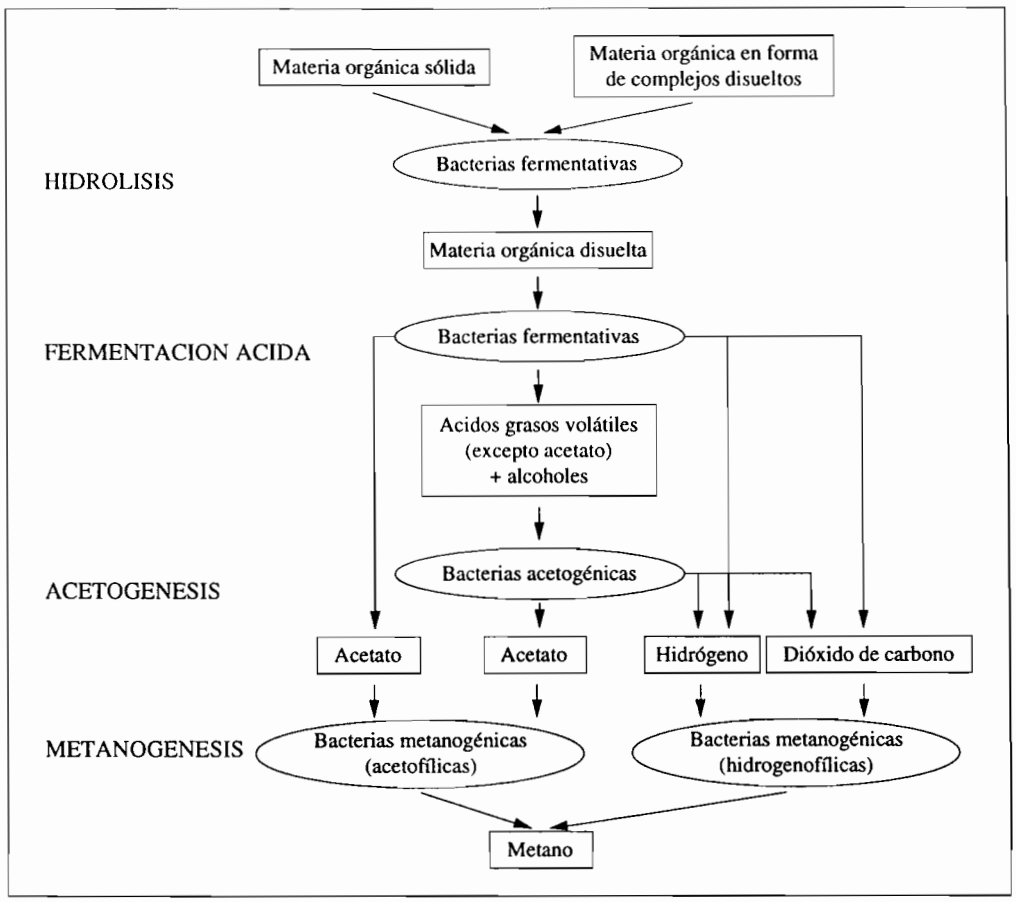


Figura 5.4. Resumen de los procesos de degradación bajo condiciones anaerobias (Yuen *et al.*, 1995).

5.2.1. FACTORES QUE FAVORECEN LA DEGRADACIÓN

Son múltiples los autores que han puesto de manifiesto las ventajas de acelerar la estabilización del vertedero, es decir, de acelerar los procesos de degradación que suceden en el interior del mismo al objeto de alcanzar cuanto antes la fase metánica y la posterior fase final. Entre estas ventajas cabe destacar (Ehrig, 1988; Stegmann & Spendlin, 1989; Pacey, 1989):

- Los costos del tratamiento de los lixiviados serán menores al ser las concentraciones de los lixiviados de vertederos en fase metánica de unos dos órdenes de magnitud menor a los de vertederos en fase ácida.

- Se favorece la producción de gas y se limita esta producción a un periodo de tiempo menor con lo que las tasas de gas recuperado son relativamente mayores, gas que a su vez puede emplearse para generación de electricidad.

- Los procesos de asentamiento tendrán lugar en menor tiempo con lo que los problemas a la hora de rehabilitar los terrenos ocupados por el vertedero serán menores.

- Se favorece la generación de los gases y de los lixiviados más contaminantes durante una etapa temprana en la que los sistemas de control tanto de gases como de lixiviados (sistema de drenaje, sistemas de impermeabilización) funcionan mejor, la monitorización es

más activa y la disposición de la administración y/o propietarios de los vertederos ante problemas surgidos es también mayor.

Entre las prácticas que favorecen esta aceleración de las reacciones que suceden en el interior del vertedero cabe destacar, en base a experimentos llevados a cabo fundamentalmente en lisímetros de diferentes escalas (Pacey, 1989; Leuschner, 1989):

- Recirculación de lixiviados, que aumenta la humedad de la masa de residuos (valores bajos de humedad pueden limitar la producción de metano al inhibir el crecimiento bacteriano) y que constituye un medio de transporte para los nutrientes y bacterias.

- Adición de sustancias tampón ($NaHCO_3$ o similares), al objeto de controlar los valores del pH. Las bacterias metanogénicas son sensibles al pH pudiendo únicamente desarrollarse a pH comprendidos entre 6,5 y 7,5.

- Adición de nutrientes, especialmente P (por ejemplo, en forma de K_2PO_4) y N (en forma de urea o similar) que permiten el desarrollo bacteriano.

- Adición de bacterias. Por medio de fangos digeridos anaeróbicamente procedentes de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, que además de contener cantidades importantes de bacterias metanogénicas suelen presentar composiciones alcalinas también beneficiosas por su efecto tampón.

Yuen *et al.* (1995) resumen en la Tabla 5.1 los distintos factores que favorecen la estabilización del vertedero tras realizar una completa revisión sobre las experiencias realizadas.

FACTOR	CRITERIO	VALORES	REFERENCIAS
Humedad	Contenido óptimo de humedad:	> 60% (en masa húmeda)	Pohland (1980); Ress (1980)
Oxígeno	Potencial redox óptimo para metanogénesis:	- 200 mV	Farquhar & Rovers (1973)
		- 300 mV	Christensen & Kjeldsen (1989)
		< -100 mV	Pohland (1980)
pH	pH óptimo para metanogénesis:	6 a 8	Ehrig (1983)
		6,4 a 7,2	Farquhar & Rovers (1973)
Alcalinidad	Alcalinidad óptima para metanogénesis:	2.000 mg/l	Farquhar & Rovers (1973)
	Concentración máxima de ácidos orgánicos para metanogénesis:	3.000 mg/l	Farquhar & Rovers (1973)
	Máximo cociente ácido acético/alcalinidad para metanogénesis:	0,8	Ehrig (1983)
Temperatuta	Temperatura óptima para metanogénesis:	40 °C	Rees (1980)
		41 °C	Hartz *et al.* (1982)
		34 °C - 38 °C	Mata-Alvarez *et al.* (1986)
Hidrógeno	Presión parcial para metanogénesis:	< 10-6 atm.	Barlaz *et al.* (1987)
Nutrientes	Generalmente en cantidades adecuadas en la mayoría de los vertederos		Christensen & Kjeldsen (1989)
Sulfatos	Sus aumentos disminuyen la metanogénesis		Christensen & Kjeldsen (1989)
Inhibidores	Algunos cationes producen inhibiciones moderadas:		
	Na^+	3.500-5.500	McCarty & McKinney (1961)
	K^+	2.500-4.500	
	Ca^{2+}	2.500-4.500	
	Mg^{2+}	1.000-1.500	
	$N\text{-}NH_4^+$	1.500-3.000	
	Metales pesados:	No influyen apenas	Ehrig (1983)
	Compuestos orgánicos:	Sólo si hay grandes cantidades	Christensen & Kjeldsen (1989)

Tabla 5.1. Resumen de los factores influyentes en la estabilización de un vertedero (Yuen *et al.*, 1995).

5.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para describir la presencia, intensidad y duración de una fase durante la estabilización de un vertedero, se determinan normalmente una serie de "parámetros indicadores" y contaminantes específicos. Estos parámetros químicos, físicos y biológicos ayudan a tener una visión general del estado del vertedero y nos informan sobre los riesgos que pueden ocasionar los lixiviados en caso de que por defectos de construcción de los vertederos afecten al medio circundante (suelos, aguas superficiales y subterráneas, seres vivos).

5.3.1. PARÁMETROS INDICADORES

Estos parámetros se utilizan para informar sobre un conjunto de características químicas, condiciones o características de los vertidos. Son parámetros representativos de la calidad de los efluentes y de sus usos posibles (DQO, DBO_5, TOC, TSS), así como indicadores de propiedades que los contaminantes pueden comunicar al agua (conductividad, pH, alcalinidad, dureza).

DQO, DBO_5, TOC

Estos tres parámetros están relacionados con la materia orgánica presente en los lixiviados. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) indica la cantidad de O_2 requerido bajo condiciones normalizadas para la oxidación mediante procesos biológicos aerobios de las sustancias existentes en un agua. La demanda química de oxígeno (DQO) indica la cantidad de O_2 necesaria para oxidar los compuestos presentes, ya sean biológicamente degradables o no.

La relación DBO_5/DQO ha sido usada como indicador de la edad (estado) de los lixiviados del vertedero. Hace referencia al grado de degradabilidad biológica de las sustancias orgánicas existentes en el vertedero (Ehrig, 1983). Los lixiviados jóvenes tienen una relación de 0,4-0,6 mientras que lixiviados más antiguos exhiben una mucha menor relación, aproximadamente 0,1. Estudios en Wisconsin (USA) sobre 7 vertederos activos no reflejan, sin embargo, esta disminución posiblemente debido al continuo vertido de residuos que originan mezclas de lixiviados de diferente edad en el punto de muestreo (Kmet & McGinley, 1982).

Por último, el Carbono Orgánico Total (TOC) estima la cantidad total de carbono que forma parte de moléculas orgánicas en una muestra. También incluye compuestos orgánicos solubles tales como ácidos húmicos y fúlvicos, materia orgánica absorbida o precipitada sobre coloides suspendidos y posiblemente algunos orgánicos volátiles como CH_4 y CO_2 (Thurman, 1985).

TSS

Los sólidos en suspensión totales (TSS) pueden tener su origen en sólidos finos arrastrados durante la percolación del lixiviado o por precipitación de iones, especialmente Fe, cuando el lixiviado es expuesto al aire (presencia de O_2). También puede tratarse de flóculos de microorganismos que pueden desarrollarse en los sistemas de drenaje de lixiviados. Todos ellos sedimentan tarde o temprano, y pueden ser inertes o biodegradables lenta o rápidamente. Si son orgánicos pueden sustraer parte del oxígeno existente. Además de efectos tóxicos por su composición, en caso de que los lixiviados acaben en cauces superficiales, pueden

provocar la muerte de peces por abrasión o por obstrucción de agallas y pasos respiratorios.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (capacidad de un agua para conducir electricidad) es un indicador de la cantidad de material (iones) disuelto en el agua. En el valor de la conductividad influye no sólo la concentración iónica, sino el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, etc.). Refleja fundamentalmente la presencia de iones mayoritarios (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, Cl^-, SO_4^{2-}, CO_3H^-). Los compuestos orgánicos disueltos no contribuyen apreciablemente a la conductividad pero sí al pH y a las especies dependientes.

La medida de la conductividad diaria en los lixiviados de vertederos de Wisconsin (USA) durante treinta meses ha puesto de manifiesto variaciones entre 1.000 y 12.000 µS/cm, pero con tendencias relativamente constantes en el tiempo (Kmet & McGinley, 1982). Esta variabilidad es atribuida en parte a eventos de infiltración que pueden provocar la disolución de cantidades variables de compuestos solubles. Otros autores han encontrado descensos significantes a lo largo del tiempo tanto en vertederos como en lisímetros (Kross, 1987), pero sin llegar a explicar los motivos de tal comportamiento.

Por otra parte, la medida de la conductividad también da una estimación del contenido en TDS (sólidos disueltos totales). Frecuentemente, ambos parámetros están linealmente relacionados de la forma:

$$\text{Conductividad} = c \cdot \text{TDS}$$

donde c es un coeficiente que varía según el tipo de aguas entre 0,54 y 0,96 (Maidment, 1992).

pH y Eh

El pH de un agua (inverso del logaritmo de la actividad del ión H^+) es una medida de sus características reactivas. Da una idea sobre la formación de ácidos y en general sobre el estado de degradación biológica del vertedero. La capacidad tampón del lixiviado, tal y como sugieren sus niveles de alcalinidad, tienden a estabilizar los niveles de pH. Los lixiviados suelen presentar pH comprendidos entre 6,5 y 7,5 debido a la capacidad tampón existente como consecuencia de la formación de grandes cantidades de CO_2, y en menor medida a la formación de NH_3, que forma NH_4^+ en el agua, y a la reducción del SO_4^{2-} a H_2S.

El Eh (potencial de oxidación-reducción o potencial redox, parámetro que mide la tendencia de un sistema a comportarse como reductor u oxidante) de los lixiviados está controlado por la reducción de los compuestos orgánicos y formas oxidadas del N, S, Fe y Mn.

La medida del pH y Eh del lixiviado debe realizarse en el campo evitando el contacto de la muestra con la atmósfera dado que el posible escape del CO_2 disuelto y la precipitación de hidróxidos puede alterar la medida.

Alcalinidad

El principal interés de este parámetro (capacidad para neutralizar ácidos, debida a la presencia fundamentalmente de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos) es su correlación con

la capacidad tampón que presentan normalmente los lixiviados, capacidad a la que también contribuye la presencia de NH_4^+ (Clément *et al.*, 1993). Kross (1987) informa que los lixiviados de vertederos antiguos, con bajos contenidos de DQO, deben su alcalinidad al sistema carbonato-bicarbonato mientras que en los de vertederos jóvenes, con altos contenidos en DQO, su alcalinidad deriva de los ácidos orgánicos. A pesar de ello, normalmente este parámetro se determina en forma de bicarbonato.

Dureza

La dureza es un indicador de los cationes polivalentes totales (las definiciones actuales la identifican con el contenido en iones alcalinotérreos, fundamentalmente Ca^{2+} y Mg^{2+}). Éstos predominan en aguas naturales, pero en los lixiviados pueden registrarse también cantidades significantes de iones Fe, Mn, Ba y Zn que también contribuirán al valor de la dureza. Al igual que la alcalinidad, habitualmente se determina en forma de bicarbonato.

5.3.2. CONTAMINANTES ESPECÍFICOS

Referentes a elementos o sustancias cuyas concentraciones interesa conocer aunque algunos de ellos estén globalizados o detectados a través de los parámetros indicadores.

Nitrógeno

Este compuesto proviene de la descomposición de los compuestos nitrogenados existentes en la masa de vertidos, especialmente en la fracción orgánica. Se presenta, sobre todo, como N amoniacal u orgánico .

El Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) incluye el N orgánico y el amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$), constituyendo normalmente el amoniacal el 60-90% del valor total de NTK.

Desde un punto de vista medioambiental, el contenido en NH_4^+, altamente dependiente del pH, incide directamente sobre la vida de los peces y microorganismos en caso de que los lixiviados vayan a parar a cauces públicos. La relación DBO_5/NH_4^+ decrece, en teoría, en el tiempo, resultado de la abundancia de nutrientes nitrogenados existente en los lixiviados antiguos.

La concentración de NO_3^- en los lixiviados es relativamente baja, incluso ausente en los lixiviados viejos. Estos hechos son debidos a las fuertes condiciones reductoras existentes en el interior del vertedero, bajo las cuales los NO_3^- y NO_2^- se transforman en NH_4^+ u otras formas reducidas de N. Estas condiciones reductoras conjuntamente con el medio anóxico inhiben el proceso de nitrificación (Hancock & Phillips, 1993) ya que las bacterias nitrificantes necesitan algo de oxígeno y además no toleran altas concentraciones de compuestos orgánicos. Todo ello obliga a una preservación cuidadosa de la muestra recogida y una rápida determinación de los NO_3^- para prevenir la oxidación de las formas reducidas.

Fósforo

Puede aparecer en forma de pirofosfatos, fosfatos condensados y formando parte de complejos orgánicos tanto en forma soluble o como partículas (detritus). Su presencia se relaciona con el vertido de ciertos residuos domiciliarios y otros procedentes de comercios.

Azufre

Los lixiviados contienen sulfuro orgánico e iones inorgánicos, principalmente sulfato, sulfuro y sulfito, siendo el sulfato el más común. Disuelto en los lixiviados pueden registrarse concentraciones apreciables de gas sulfhídrico, característico de medios reductores.

5.3.2.1. IONES MAYORITARIOS

CO_3H^-

En los lixiviados el C inorgánico se presenta fundamentalmente como ión bicarbonato (CO_3H^-), sin embargo se ha publicado muy poca información sobre este componente. Entre otros factores, esto puede estar motivado por la dificultad en obtener una muestra representativa debido a la presión parcial del $CO_{2(g)}$ en el vertedero y a los cambios en este equilibrio gas/líquido una vez que el lixiviado es expuesto a la presión atmosférica.

El contacto del lixiviado con el CO_2 presente en el gas generado en el vertedero hace que sea habitual las altas concentraciones de especies carbonatadas.

Cl^- , SO_4^{2-}

Estos dos iones son los más abundantes en los lixiviados lo que puede ser reflejo de su alta solubilidad así como de su presencia en muchos de los residuos vertidos.

El Cl^- es el ión más fácilmente movilizable de los residuos vertidos y se considera que no es afectado por las reacciones microbiológicas que ocurren en el vertedero permaneciendo como ión libre bajo un amplio rango de condiciones redox.

Kmet & McGinley (1982) proponen una relación empírica entre la conductividad y los Cl^- para muestras típicas de lixiviados:

$$Cl^- = 0{,}1 \cdot \text{conductividad}$$

La lixiviación del SO_4^{2-} sigue rutas más complicadas que la del Cl^-. Las condiciones fuertemente reductoras pueden causar la reducción de parte del SO_4^{2-} a sulfuros, que es un importante precipitante para los metales.

Na^+ , K^+

La fuente de estos iones puede ser variable, según Baedecker & Back (1979): presencia en los materiales vertidos, por alteración de minerales silicatados y por intercambio catiónico en las arcillas utilizadas como material de cobertera (se intercambiaría NH_4^+, abundante en el lixiviado, por Na^+, K^+, así como por Ca^{2+} y Mg^{2+}).

Mg^{2+} , Ca^{2+}

El Mg^{2+} puede estar presente en los lixiviados en grandes concentraciones pudiendo alcanzar los 15.000 mg/l (Kross, 1987). Sin embargo, en la mayoría de los casos las concentraciones están por debajo de los 700 mg/l.

El Ca^{2+} normalmente se encuentra en los lixiviados en mayores cantidades que el Mg^{2+}

(Tabla 5.10) a pesar de que se trata de un ión menos soluble que el segundo. En algunos vertederos, las altas concentraciones de este ión pueden deberse, en parte, al vertido de escorias de fundición, ricas en Ca, como material de cubrición.

5.3.2.2. METALES

El comportamiento de los metales pesados en el interior de la masa de vertido durante el proceso de estabilización de la misma ha sido estudiado con detalle por numerosos autores (Barber *et al.*, 1985; Pohland & Gould, 1986; Belevi & Baccini, 1989; Cossu & Serra, 1989; Clément *et al.*, 1993), tanto en lo referente a su comportamiento a corto como a largo plazo.

Los resultados de estos estudios han permitido ampliar los conocimientos sobre los factores que regulan la posible solubilización de estos elementos y entre los que podemos destacar el pH, el Eh, la concentración iónica y los procesos de complejación.

Los metales Fe, Mn y Zn son los que presentan mayores concentraciones en los lixiviados (Tabla 5.10). En función del pH pueden encontrarse como iones libres o más frecuentemente como complejos solubles o precipitados.

Estudios en lisímetros y grandes parcelas experimentales (Barber *et al.*, 1985) han demostrado un incremento de la movilización de los metales en condiciones de pH ácido, mientras que condiciones neutras inducen una disminución de la movilidad, quedando patente una relación inversa del pH con la solubilidad de los metales. Por otra parte, el pH determina la distribución relativa de los aniones precipitantes (sulfuros, carbonatos, hidróxidos).

La presencia de Eh negativos ejerce así mismo una influencia considerable sobre la especiación de tales aniones. Así, la existencia de condiciones reductoras (Eh <-200 mV), similares a las existentes en el interior del vertedero durante el proceso de degradación, induce la presencia de sulfuros que son los compuestos más importantes para la precipitación de metales. Con muy bajas concentraciones de sulfuros, los carbonatos y los hidroxi-carbonatos juegan un papel fundamental en la precipitación de metales (se ha observado que el Cr precipita en forma de hidróxido mientras que el Cd, Cu y Pb lo hacen en forma de carbonatos incluso en ausencia de sulfuros) (Pohland & Gould, 1986).

Los metales pueden ser inmovilizados no solo por precipitación sino también por absorción sobre el precipitado. Este proceso es más eficiente incluso durante el proceso de recirculado de lixiviados a través del vertedero.

También ha sido observado que la solubilización de los metales aumenta en el caso que existan contenidos importantes de sustancias orgánicas, especialmente de sustancias húmicas, así como con valores altos de conductividad, parámetro directamente relacionado con la concentración iónica de la solución.

Esta relación existente entre la solubilidad de los metales con la concentración de sustancias orgánicas (TOC) y con la conductividad se debe al hecho de la formación de complejos entre los iones metálicos con iones no metálicos mediante enlaces covalentes coordinados. Los iones enlazantes pueden ser orgánicos o inorgánicos (Cl^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, OH^-, CO_3^{2-}, NH_4^+), siendo los más frecuentes y efectivos los de origen orgánico, especialmente los compuestos fenólicos, los húmicos y los fúlvicos (Clément *et al.*, 1993).

En definitiva, podemos concluir que bajo condiciones reductoras estrictas, condiciones de pH neutras y relativas cargas orgánicas bajas, los requisitos para la inmovilización de metales se dan en el interior de los vertederos.

Aun así, se estima que los metales son transferidos al exterior a través fundamentalmente del lixiviado (Belevi & Baccini, 1989), siendo las concentraciones correspondientes en el gas de dos o tres órdenes de magnitud menor. La única excepción sería la del Hg que sería transferido tanto por el lixiviado como por el gas en órdenes similares.

Fe

El Fe está generalmente presente en los lixiviados como Fe^{2+} (soluble), Fe^{3+} (menos soluble) y en forma de sólidos en suspensión. Una vez tomada la muestra de lixiviado, la forma ferrosa puede fácilmente ser oxidada a forma férrica pudiendo entonces precipitar.

Las relaciones de solubilidad del Fe están condicionadas por el pH; así a valores de pH < 5,5 es frecuente la existencia de Fe disuelto en las dos formas posibles.

La precipitación de Fe puede producirse en presencia de iones sulfito (Clément *et al.*, 1993). Bajo condiciones de Eh negativo y pH neutros, el Fe puede precipitar como limonita ($Fe(OH)_3$), siderita ($FeCO_3$) y pirita o marcasita (FeS_2). Durante la precipitación de Fe otros compuestos metálicos pueden precipitar. Por ejemplo, se han encontrado depósitos de pirita con contenidos altos de As (Hounslow, 1980). Sin embargo, si los niveles de Fe exceden los niveles de sulfuros, el Fe persistiría como ión ferroso, que es altamente soluble bajo fuertes condiciones reductoras (Stumm & Morgan, 1981).

Las relativas altas concentraciones de Fe son generalmente consideradas como el origen del color marrón-rojizo que frecuentemente presentan los lixiviados.

Cd , Cu

Según Fulkerson (1975) el Cd aparece en los lixiviados como catión divalente asociado con complejos inorgánicos de NH_4^+ y Cl^-. Puede tener su origen en los plásticos, restos de pinturas y utensilios galvanizados depositados en el vertedero.

El Cu por su parte presenta en los lixiviados concentraciones similares a las existentes en aguas naturales superficiales y subterráneas.

Cr

La forma de oxidación más tóxica del Cr es la hexavalente (Cr^{6+}) mientras que la trivalente (Cr^{3+}) es mucho menos tóxica. La fuerte atmósfera reductora existente en el vertedero durante la descomposición de los residuos favorece la formación de formas trivalentes que forman precipitados insolubles a pH mayores que 5. Además, el Cr^{3+} es retenido por las arcillas (posible material de cubrición) quedando reducida su movilidad.

Claramente, las formas dominantes de Cr en los lixiviados son las trivalentes. Según Clark & Piskin (1977), el Cr^{6+} puede alcanzar valores máximos comprendidos entre 0,03 y 0,07 mg/l. Sin embargo, normalmente los resultados de los análisis se dan en forma de Cr_{total}, no diferenciándose entre ambas formas.

Pb

En los estados iniciales de descomposición, las aguas ricas en O_2 que se infiltran en el vertedero dan origen a condiciones de pH bajo que favorecen la disolución de Pb. En cambio, cuando el vertedero se encuentra en la fase anaerobia (bajo Eh), el Pb puede formar sulfuros insolubles y ser retenidos en el vertedero.

Hg

El Hg tiene un especial interés medioambiental dada su toxicidad y su capacidad de bioacumulación. El Hg orgánico, especialmente la forma metil, es altamente tóxica. Bajo las condiciones reductoras del vertedero, el Hg^{2+} y el Hg elemental predominan sobre otras formas. La volatilización y la precipitación pueden limitar la migración en el lixiviado, que suele darse en forma de compuestos clorados solubles [$Hg(Cl)^{3-}$ y $Hg(Cl)^{2-}$]. Por otra parte, el Hg también puede formar complejos con la materia orgánica soluble incrementándose así su movilidad. Este metal puede proceder de componentes de aparatos eléctricos e instrumentos de control depositados en el vertedero.

Ni

El Ni es un elemento bastante común en los residuos vertidos en vertederos debido a su amplio uso en aparatos electrónicos, baterías, bujías y electrodos. Es considerado moderadamente movible y es detectado normalmente en muchos lixiviados.

Zn

El Zn es otro elemento común en los residuos sólidos (ruedas galvanizadas, baterías, pantallas de televisión, tubos fluorescentes, soldaduras y residuos de pinturas) así como en los lodos procedentes de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. El Zn es inicialmente movilizado de los residuos durante el periodo con condiciones de bajo pH y Eh, mientras que en estados posteriores de mayores valores de pH precipita como hidróxidos y carbonatos. Este proceso se intensifica cuando la muestra de lixiviado entra en contacto con la atmósfera.

Cianuros

Los cianuros pueden combinarse con metales como Cd y Ni para formar sales cianuradas o complejos metalocianurados de toxicidad variable. Cossu & Serra (1989) citan varios mecanismos que controlan la presencia de este elemento:

- Volatilización en forma de cianuro de hidrógeno y dispersión en la atmósfera en concentraciones traza.
- Hidrólisis en la forma de NH_4^+, favorecida por la humedad de la basura.
- Precipitación en forma de tiocianatos en presencia de compuestos sulfurados.
- Precipitación en forma de compuestos ferrosos insolubles (ferrocianatos).

5.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO

A continuación se citan y comentan los principales factores que deciden a la postre la caracterización física, química y microbiológica de las aguas de lixiviación.

5.4.1. COMPOSICIÓN DE LA BASURA

Se trata del factor de influencia más obvio y claro. Evidentemente todos los contaminantes presentes en el lixiviado proceden, de una u otra forma, de los residuos vertidos. La composición de estos residuos depende de factores como son el modo y nivel de vida de la población, de su alimentación, del clima y de la estación, del medio de la población (rural o urbano, zona residencial), etc. En la Tabla 5.2 se muestra a modo de ejemplo la composición de los R.S.U., en % en peso seco, de estados de la Unión Europea (UE) según estadísticas oficiales (MOPT, 1992). Aunque la importancia relativa de cada categoría es muy variable de unos estados a otros (variaciones de materia orgánica entre 16 y 61%, de papel y cartón entre el 15 y 35%), queda claro que, en general, son estas dos categorías las más abundantes y las que más van a condicionar el quimismo de los lixiviados.

ESTADOS	AÑO	Papel y cartón (%)	Plástico (%)	Vidrio (%)	Metales (%)	Materia orgánica (%)	Otros (%)
Alemania	1985	17,9	5,4	9,2	3,2	40,8	23,5
Bélgica	1980	35	5.8	8,2	5,1	16	29,9
Dinamarca	1980	34	7	6	5	17	31
España	1986	15	6	6	2,5	52	18,5
Francia	1985	27,5	4,5	7,5	6,5	37	17
Grecia	1980	19,6	7	2,7	4,2	61,2	5,3
Holanda	1985	22,8	6,8	7,2	3,4	52,6	7,2
Irlanda	1985	24,5	14	7,5	3	28,6	22,4
Italia	1985	22,3	7,2	6,2	3,1	39,3	21,9
Luxemburgo	1985	17,2	6,4	7,2	2,6	29,3	37,3
Portugal	1985	19	3	3	3,5	53,3	18,2
Reino Unido	1980	29	7	10	8	26,7	19,3
Media UE		23,7	6,7	6,7	4,2	37,8	21

Tabla 5.2. Composición (% en peso seco) de los R.S.U. en estados de la Unión Europea (MOPT, 1992).

								Tasa de lixiviación (µg/kg en peso seco y por año)	
	Vogl (1978)	Nielsen (1978)	Greiner (1983)	Ehrig (1983)	Fresenius *et al.* (1984)	Tabasara (1984)	Belevi *et al.* (1987)	Ehrig & Scheelhaase (1993)	Aulin & Neretnieks (1995)
C (g/kg)	310-380		224	280-315		430	290		
N (g/kg)	7-10			9,6		6	4		
P (g/kg)				3,3			1		
Cl (g/kg)	1,1-4,8					5	7,2		
Cl órg. (g/kg)			3,47						
Fe (mg/kg)							50.000		
Ni (mg/kg)		15							
Cr (mg/kg)	5-100	28			2.060-2.810			4	2,8
Cu (mg/kg)	120-210	400	238		411-532		400		
Pb (mg/kg)	110-330	210	399		210-370		400	12	0,38
Zn (mg/kg)	300-1.000	1.200	521		588-742		1.200	8	67
Cd (mg/kg)	2-14	3,5	3,48		40-50		11	0,08	0,06
Hg (mg/kg)	1-14	1,1	0,64		0,3-0,4		4	0,13	0,007

Tabla 5.3. Resultados de análisis de R.S.U. (basado en Ehrig & Scheelhaase, 1993) y tasas de lixiviación para algunos elementos según estos autores y Aulin & Neretnieks (1995).

Besse (1988) llega incluso a relacionar los distintos elementos de las basuras con la composición de los lixiviados resultantes (Figura 5.5). Esta autora diferencia entre tres procesos de disolución: disolución directa de las sustancias solubles (A), disolución de los compuestos solubles formados por biodegradación (B), y disolución facilitada por reducción química de la forma insoluble de la forma soluble (C).

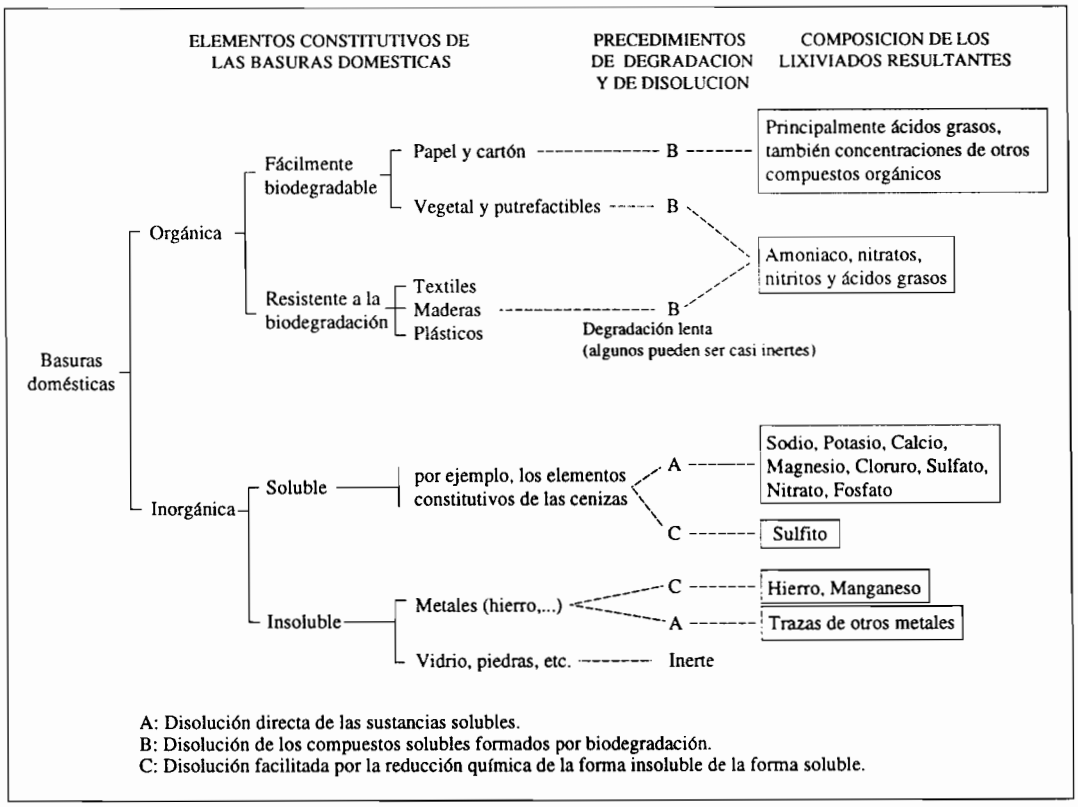


Figura 5.5. Relación entre los elementos constitutivos de las basuras y la composición de los lixiviados resultantes (Besse, 1988).

	Italia-TOTAL	Italia-Norte	Italia-Central	Italia-Sur
Nº análisis	304	109	58	137
Composición físico-química (%):				
Agua	44,1	40,6	42,9	49,1
Material combustible	32,9	35,5	32,7	29,2
Material incombustible	23	23,9	24,4	21,7
Categorías (%):				
Papel, cartón	22,3	24,3	23,3	18,7
Plásticos	7,2	7,9	6,4	6,8
Metales	3	3,4	3	2,4
Inertes	7,1	8,6	8,6	5,4
Orgánicos	42,1	38,9	40,7	46,5
Otros	18,3	16,9	18	20,2

Tabla 5.4 (izquierda). Categorías y composición físico-química de los R.S.U. vertidos en vertederos italianos (Del Greco & Oggeri, 1993).

Componente	Peso (%)
Metal:	
Fe	25,08
Al	3,63
Zn	0,20
Cu	0,46
Vidrio, cerámica	34,65
Otros	35,98

Tabla 5.5 (derecha). Composición media de la fracción no combustible de los residuos vertidos en vertederos americanos (Lisk, 1991).

En la Tabla 5.3 también se presentan los resultados de los análisis de R.S.U. realizados por distintos autores, en su mayoría recopilados por Ehrig & Scheelhaase (1993). Como puede verse los elementos más abundante son el C seguido a mucha distancia por el N y Cl.

Entre los metales predominan el Fe y Zn.

En la Tabla 5.4 se indican las categorías y la composición físico-química de los R.S.U. vertidos en vertederos italianos (Del Greco & Oggeri, 1993). En general, se aprecia una variación en los % de residuos vertidos relacionada con el nivel de vida de la población (mayores cantidades de papel-cartón y plásticos y menores de materia orgánica en la zona Norte que en la Sur). Por último, en la Tabla 5.5 se presenta la composición media de la fracción no combustible de los residuos vertidos en vertederos americanos (Lisk, 1991). Destaca la importancia relativa del Fe (25,08%), que es el metal más frecuente, seguido del Al (3,63%). Las cantidades de vidrio y cerámica también son muy importantes.

5.4.2. COMPOSICIÓN DEL RESTO DE MATERIALES VERTIDOS Y RELACIÓN R.S.U./RESTO DE MATERIALES

Campón *et al.* (1984) ponen en evidencia el efecto de verter como material de cubrición escorias de fundición ricas en óxido de calcio en vertederos de Asturias. Estos autores consideran que el óxido de calcio forma hidróxido de calcio al entrar en contacto con el agua de lluvia infiltrada en el terreno, reaccionando éste con los lixiviados orgánicos produciendo la floculación de las sustancias contaminantes contenidas en los mismos. Por todo ello, recomiendan el uso de Cal viva procedente de actividades industriales que puedan ofrecerla como subproducto, escorias de hornos, lodos de obtención de acetileno, etc.

Contreras *et al.* (1988) también trabajando en vertederos de Asturias, relacionan los contenidos en metales como Fe, Cu y Cr en los lixiviados con las escorias de fundición vertidas como material de cubrición.

Otros autores (Clark & Piskin, 1977), trabajando en vertederos de Illinois (USA), han puesto de manifiesto, como se ve en la Tabla 5.6, la influencia del tipo de basura y del material de cubrición sobre el quimismo de los lixiviados. Para ello comparan los lixiviados de vertederos en los que se ha vertido residuos ricos en hidróxido de Sodio (sosa caústica), con otros en los que se utilizó residuos mineros como material de cubrición, y solamente arena como material de cubrición.

También debe de tenerse en cuenta el hecho de que en algunos vertederos de R.S.U. se vierten cantidades, en ocasiones considerables, de Residuos Industriales inertes, escombros e incluso lodos de depuradora que en cierta medida pueden condicionar la composición físico-química de los lixiviados generados.

Blakey (1991) considera beneficioso el vertido de lodos de depuradoras de aguas residuales. Con ello se conseguiría acelerar el proceso de estabilización del vertedero al aportar humedad y poblaciones importantes de bacterias. Durante sus investigaciones en lisímetros comprobó importantes descensos en las concentraciones tanto de parámetros orgánicos como de metales. El factor limitante en el vertido de estos lodos sería la aportación de excesivas cantidades de humedad (aumento del volumen de lixiviados).

En la Tabla 5.7 se muestran los tipos de residuos vertidos, y sus % relativos, en 30 vertederos holandeses en 1970 y en 1987 (Beker, 1988). Se aprecia como la importancia relativa de cada categoría puede variar considerablemente a lo largo del tiempo.

	Composición media	Recibiendo Sosa caústica (5.000 kg/día)	Recibiendo Residuos mineros como cobertera	Recibiendo arenas como cobertera
Alcalinidad (mg/l CO_3Ca)	2.062	13.500	-	2.840
N-NH_4^+ (mg/l)	158	430	-	255
Boro (mg/l)	9	20	6,9	0,4
Ca^{2+} (mg/l)	635	25,5	-	82
DQO (mg/l)	7.996	35.950	9.530	11.971
Cu (mg/l)	25,2	1,07	1.100	-
Cl^- (mg/l)	773	70	-	1.100
Cr (mg/l)	0,004	-	22,5	-
Dureza (mg/l)	2.332	100	-	1.749
Fe (mg/l)	697	11,5	42.000	900
Pb (mg/l)	0,43	0,95	5,3	1,2
Mg^{2+} (mg/l)	260	30	-	376
Mn (mg/l)	27,5	9	678	-
Hg (ppb)	1,2	9	0,8	2,5
pH (u. pH)	6,8	9,5	1,5	7,7
K^+ (mg/l)	270	270	-	1.285
Na^+ (mg/l)	796	8.000	-	450
Conductividad (µS/cm)	20.540	22.200	-	990.000
SO_4^{2-} (mg/l)	1.204	650	84.000	475
TDS (mg/l)	20.240	-	156.000	594.000
Zn (mg/l)	12,1	5,2	250	-

Tabla 5.6. Influencia del tipo de basura y material de cubrición sobre el quimismo de los lixiviados (Clark & Piskin, 1977).

CATEGORIA	1970 (%)	1987 (%)
R.S.U.	45,4	36,2
R. industriales inertes	31,6	29,3
R. de obras	12,3	10,9
Suelos y escombros	2,9	8,2
Lodos de depuradora	1,2	2,1
R. orgánicos	3,5	3,3
Varios	3,2	10

Tabla 5.7. Tipos de residuos vertidos, y sus % relativos, en 30 vertederos holandeses en 1970 y en 1987 (Beker, 1988).

5.4.3. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

El grado de compactación, el embalado, la trituración así como la frecuencia y estrategia de cubrición condicionan significativamente al lixiviado final. Concretamente, la trituración previa puede producir los siguientes efectos:

- Incremento en el área superficial de la basura y por tanto mayor contacto de la masa de residuos con el agua percolante. Esto hará que el lixiviado presente una mayor carga contaminante.

- Incremento de la densidad (mayor grado de compactación). Disminuye por tanto la permeabilidad de la basura, lo que implica un menor ratio de percolación.

- Aceleración del ritmo de descomposición de la basura.

Por otra parte, el embalado tiende a hacer decrecer la concentración de los contaminantes

en los lixiviados, ya que el agua infiltrada discurrirá mucho más fácilmente alrededor de las densas balas que a su través con lo que el tiempo de contacto líquido-residuo será menor (ADI Limited, 1991).

5.4.4. EDAD DEL VERTEDERO

En el apartado 5.2 se han indicado las diferencias básicas en la caracterización del lixiviado según la edad del vertedero (fases de descomposición).

En líneas generales se puede afirmar que todos los parámetros indicadores de contaminación (a excepción quizás de los metales pesados) disminuyen con el paso del tiempo, siguiendo en muchos de los casos decrecimientos exponenciales del tipo (Lu *et al.*, 1981; en LABEIN, 1989):

$$C_t = C_o \cdot 10^{-kt} \qquad (5.1)$$

donde:

C_t: concentración (mg/l) tras un tiempo t.

C_o: concentración máxima (mg/l). Se asume t=0.

k: cte. de decaimiento de primer orden; k = ln2/(vida media del contaminante), que varía sensiblemente de unos contaminantes a otros.

Estas disminuciones se consideran como el resultado de la transformación biológica de los compuestos orgánicos a compuestos y elementos más simples, de la precipitación de elementos solubles, o por simples efectos de dilución.

Lu *et al.* (1981), en base a estudios efectuados en USA, llegan incluso a proponer una serie de valores para C_o y k para algunos de los parámetros y elementos más característicos de los lixiviados (Tabla 5.8).

PARAMETROS	C_o (mg/l)	k
DBO_5	35.000	0,225
DQO	89.000	0,192
TOC	14.000	0,26
$N\text{-}NH_4^+$	12.000	0,1
Cl^-	2.470	0,065
SO_4^{2-}	15.000	0,079
Cd	0,16	0,125
Cu	10	0,2
Cr	0,33	0,9

Tabla 5.8. Valores de C_o y k (Lu *et al.*, 1981).

Otros autores, como Belevi & Baccini (1989), proponen una curva esquemática que representa el flujo de un elemento en forma de lixiviado o de gas en función del tiempo (Figura 5.6). Para ello, definen el flujo de un elemento específico como el flujo anual por unidad de masa de residuos, así como el "estado de almacenamiento final" (ver apartado 5.2, etapa final).

Para especies contaminantes conservativas (cloruros, por ejemplo), donde la disminución en el tiempo se debe a procesos de dilución, y no a transformación biológica o a precipitación, Rowe (1995), estima la variación de la concentración a partir de la ecuación:

$$C_t = C_o \cdot 10^{\left[-\left(\frac{q_o}{H_R}+\lambda\right)\cdot t\right]} \qquad (5.2)$$

siendo $H_R = \dfrac{p \cdot m_o}{A_o \cdot C_o}$

donde:

q_o: volumen de lixiviado generado por unidad de área del vertedero.

m_o: masa total de residuos excluyendo los materiales de cobertera.

p: proporción respecto a la masa total de un elemento químico.

A_o: área del vertedero.

λ: cte. de decaimiento de primer orden; λ = ln2/(vida media del contaminante).

C_t, C_o, t: mismo significado que en la fórmula 5.1.

Comparando las dos ecuaciones presentadas (5.1 y 5.2), que son de idéntica forma, y desarrollando el parámetro H_R, se llega a la igualdad:

$$k = \frac{q_o \cdot A_o \cdot C_o}{p \cdot m_0} + \lambda$$

lo que nos indica que en el caso de contaminantes no conservativos, la tasa de disminución en el tiempo de las concentraciones puede calcularse a partir de la primera de las ecuaciones, pudiéndose diferenciar en la constante empírica k dos componentes: uno que representa la disminución debida a la dilución ($q_o \cdot A_o \cdot C_o / p \cdot m_o$), que depende de la masa del contaminante ($p \cdot m_o$), y un segundo que representa la disminución por efecto de procesos biológicos y químicos (λ). Si asumimos (Rowe, 1995) que la masa de contaminante es proporcional a la concentración de los picos representativos medidos en los lixiviados, entonces la disminución debida a la dilución será la misma para todas las especies contaminantes, y podrán estimarse los valores de λ.

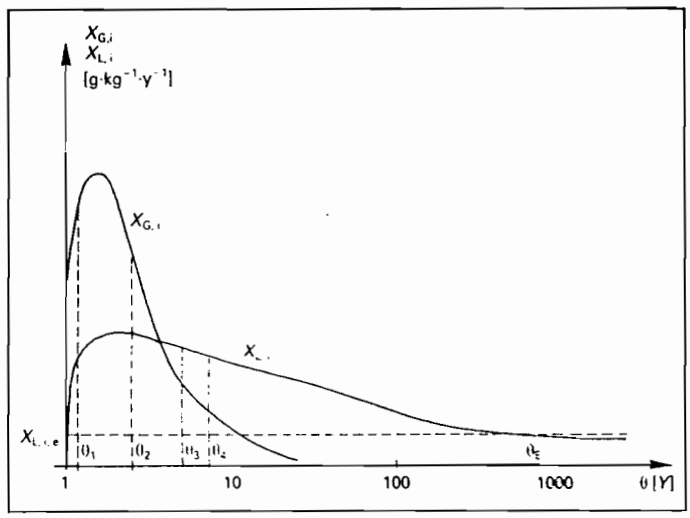


Figura 5.6. Flujo de un elemento específico en forma de lixiviado o de gas en función del tiempo (Belevi & Baccini, 1989): $X_{G,i}$: Flujo del elemento i en forma de gas; $X_{L,i}$: Flujo del elemento i en forma de lixiviado; $X_{L,i,e}$: Flujo del elemento i en forma de lixiviado en la situación de "calidad de almacenamiento final".

5.4.5. TASA DE ENTRADA DE AGUA (NATURAL O ARTIFICIAL)

Es importante resaltar aquí el hecho de que un aporte elevado de agua en las primeras etapas de operación de un vertedero conllevará una disminución del potencial contaminante del lixiviado a largo plazo, en términos generales. La transferencia de material entre basura y agua se ve intensificada en esas primeras etapas, y, por lo tanto, la "disponibilidad" de contaminantes en la basura en fases posteriores es menor.

Dos prácticas, relativamente comunes en algunos vertederos, que implican entradas de agua adicionales en el vertedero son:

- El vertido, conjuntamente con el resto de residuos, de lodos de depuradoras de aguas residuales, dado que es común que estos lodos tengan contenidos superiores al 70% de humedad.

- La recirculación de lixiviados, práctica bastante frecuente en áreas de pluviometría baja y media, que también afecta a la composición final de los lixiviados. Tejero *et al.* (1989) explican cómo este recirculado produce un aumento de la actividad biológica que se traduce en una reducción de la carga contaminante. Así mismo, también se reduce el volumen final de lixiviado recogido debido al aumento de la evaporación. Otros autores, ADI Limited (1991), se refieren a la posible reducción de la variabilidad de la composición de los lixiviados debida a su recirculación lo que hará disminuir los costos de tratamiento.

5.4.6. GEOMETRÍA DEL VERTEDERO

Por ejemplo, una mayor profundidad del lecho del vertedero implica un mayor contacto entre basura y agua percolante, y como consecuencia, una mayor carga contaminante en el lixiviado.

Es recomendable, por otra parte, clausurar rápidamente las zonas ya completas al objeto de disminuir el área potencialmente generadora de lixiviados por efecto de la infiltración de las aguas de lluvia, así como guardar cierta inclinación entre las zonas centrales y las laterales del vertedero a la hora de realizar las cubriciones diarias con vistas a favorecer la escorrentía superficial dentro del vertedero. Estas aguas se evacuan posteriormente a través de sistemas de drenaje no permanentes.

5.4.7. CONDICIONES CLIMÁTICAS. TEMPERATURA DEL VERTEDERO

Factores como las precipitaciones y la temperatura ambiente media del lugar donde se encuentra el vertedero también afectan a la composición de los lixiviados tanto al condicionar el volumen de lixiviados generados (entradas de agua, evaporación) como por condicionar el tipo de reacciones que pueden tener lugar (caso de la temperatura).

La temperatura en la superficie del vertedero está también condicionada por las reacciones de descomposición de la basura, muchas de ellas exotérmicas, y a su vez condiciona otras reacciones que tienen lugar a lo largo del tiempo así como las velocidades de reacción de las mismas. Un aumento de temperatura permite el desarrollo de una mayor actividad biológica, acelera las reacciones de disolución de los sólidos y disminuye la de los gases, y favorece en general los procesos anaerobios.

Collins (1993), estudiando el vertedero clausurado de Hannover (Alemania), activo hasta 1980, pone de manifiesto las altas temperaturas existentes en el interior de los vertederos (Figura 5.7). Como se aprecia en los dos perfiles, las temperaturas aumentan progresivamente a medida que nos alejamos de la superficie del vertedero, disminuyendo ligeramente en la zona inferior, cercana al terreno original, y en la que puede haber una zona saturada de lixiviado. Estas temperaturas incluso pueden llegar a afectar la efectividad de los sistemas de impermeabilización de los vertederos.

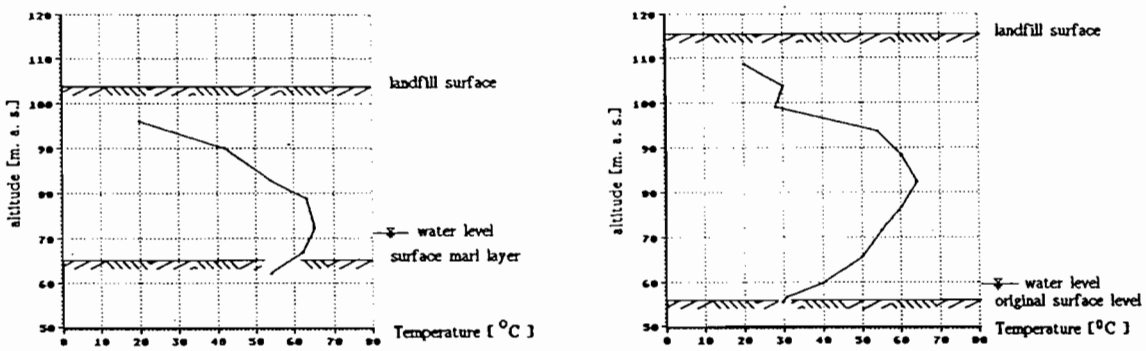


Figura 5.7. Perfil de temperatura en el vertedero clausurado de Hannover (Alemania), (Collins, 1993).

5.4.8. TÉCNICAS DE MUESTREO, CONSERVACIÓN Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

Las técnicas utilizadas de muestreo y conservación de las muestras de lixiviados, así como las técnicas analíticas empleadas en el laboratorio, pueden introducir en ocasiones errores que hacen que algunos resultados obtenidos no sean realmente válidos.

Para la deducción de conclusiones válidas a partir de resultados analíticos es imprescindible seguir fielmente las normativas existentes referentes a metodologías de muestreo y conservación de muestras. Una vez las muestras en el laboratorio, debe realizarse un seguimiento exhaustivo de los análisis dado que debido a las elevadas concentraciones presentes en los lixiviados, y de una variedad tan grande de elementos, pueden generarse errores en las determinaciones a causa de interferencias.

También es recomendable realizar periódicamente análisis comparativos de una misma muestra en varios laboratorios homologados al objeto de contrastar los resultados.

5.5. ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POTENCIAL

Inicialmente se consideraba que los vertederos suponían una fuente de contaminación casi infinita. Serían focos puntuales de contaminación continua en el tiempo. Sin embargo, en la actualidad se considera que solamente una pequeña cantidad de la masa total vertida puede en última instancia disolverse y formar parte de los lixiviados. A pesar de que ésta es una idea comúnmente aceptada, se han realizado muy pocas estimaciones cuantitativas sobre los componentes lixiviables.

Uno de los pocos trabajos realizados al respecto es el realizado por Howard *et al.* (1996) en vertederos de la ciudad de Toronto (Canadá). Estos autores estiman la "masa lixiviable de los compuestos" a partir de la masa lixiviable del Cl^- y de las concentraciones máximas

medias, en los lixiviados, del Cl^- y de los compuestos lixiviables.

El Cl^- es considerado como elemento de referencia al ser uno de los pocos elementos de los que se tienen datos contrastados sobre su presencia en la masa de vertido. Así, puede considerarse que el Cl^- constituye entre el 0,1 y el 0,2% en peso seco de la masa total vertida (Howard *et al.*, 1996).

La estimación de la masa lixiviable del resto de los componentes puede calcularse, según estos autores, partiendo de la base de que estas masas se ven reflejadas en los picos de concentración representativos medidos en los lixiviados, y asumiendo que el cociente entre la masa lixiviable de un compuesto químico y su pico de concentración representativo en los lixiviados es el mismo para todos los compuestos lixiviables. Sin embargo, no consideran la posible biodegradación y volatilización que puede ocurrir dentro del vertedero.

Por tanto, la masa lixiviable de un compuesto concreto puede calcularse mediante la ecuación:

$$M_c = L_c \cdot \left(\frac{M_{Cl}}{L_{Cl}} \right)$$

donde:

M_{Cl}: Masa de Cl^- en el vertedero (tm).
L_{Cl}: Pico de concentración medio de Cl^- en los lixiviados (mg/l).
M_c: Masa del compuesto problema en el vertedero (tm).
L_c: Pico de concentración medio del compuesto problema en los lixiviados (mg/l).

Aplicando esta metodología a 39 componentes analizados de forma habitual en los lixiviados del principal vertedero en activo de la ciudad de Toronto (Canadá), Howard *et al.* (1996) estiman que únicamente el 2,9% del total de la masa vertida puede ser finalmente lixiviada. De esta cantidad, aproximadamente el 99% está compuesta por Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, N (como NH_4^+, NO_3^- y NO_2^-), Cl^-, SO_4^{2-} y CO_3H^-.

El impacto medioambiental potencial de cada compuesto puede estimarse a su vez dividiendo la masa lixiviable de cada compuesto por los estándars de calidad en las aguas para cada uno de ellos. De esta forma se obtiene el volumen de agua que podría ser contaminada por cada compuesto considerado. En el estudio referido, se dedujo que 17 de los 39 componentes analizados eran capaces de contaminar del orden de $2 \cdot 10^{12}$ l de agua, un valor que representa aproximadamente el volumen de agua subterránea que fluye por la zona de estudio durante 20 años.

Por otra parte, también es de gran interés conocer las tasas de lixiviación de los distintos elementos o compuestos, dado que tan importante como conocer las cantidades susceptibles de lixiviarse es el conocer el tiempo que ese proceso puede durar y que lógicamente va a ser muy diferente según las propiedades de los elementos o compuestos. Algunos autores han propuesto valores para ciertos elementos (Tabla 5.2), pero, en general, puede decirse que es un aspecto muy poco conocido.

También debe tenerse en cuenta la posibilidad de que se escapen en forma de gases o de que se produzcan acumulaciones de ciertos elementos en el interior del vertedero, o dicho de otra forma, que las tasas de lixiviación sean durante ciertos años excesivamente bajas. Este es el caso descrito por Aulin & Neretnieks (1995) en el vertedero de Högbytorp (Suecia), en el que se vertían cantidades importantes de residuos industriales. Estos autores cuantifican las entradas de ciertos elementos, especialmente metales, así como sus salidas en forma de lixiviados. Consideran el Cd como ejemplo del comportamiento de los metales. Para este metal, las entradas rondan el valor de 1 tm/año durante los últimos diez años. Sin embargo, las salidas en forma de lixiviados sólo alcanzan el valor de unos 30 g/año. Estas tasas de lixiviación indican que se necesitarán miles de años para que se produjera la total lixiviación de este metal, aunque en realidad sería menos dado que una parte indeterminada del mismo podría no ser movilizable o ser expulsada del vertedero en forma de gas.

5.6. COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS. RECOPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la Tabla 5.9 se presentan las características físico-químicas de los lixiviados generados en vertederos de R.S.U. en los que se han llevado a cabo investigaciones diversas durante los últimos años. De todos los trabajos consultados al respecto, sólo se han considerado aquellos en los que se hacía constar explícitamente que en los vertederos estudiados únicamente se vertían Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.) y asimilables, y en ningún caso Residuos Tóxicos y Peligrosos (RTP). A continuación, se indican los autores y principales características de cada trabajo:

- En la columna 1 Clark & Piskin (1977) después de analizar 123 muestras de 54 vertederos de R.S.U. de Illinois (USA) en el periodo Junio de 1971 a Junio de 1975, resumen los resultados de sus análisis.

- En la columna 2 se resume la composición de los lixiviados del vertedero de R.S.U. de Tucson City (USA) a lo largo de 4 años. En el momento del estudio (Fuller *et al.*, 1979), este vertedero tenía 15 años de antigüedad y se vertía en él continuamente.

- En la número 3 se resumen los resultados de un estudio realizado en 16 vertederos de R.S.U. de Wisconsin (USA) por Kmet & McGinley (1982). En tres de estos vertederos se vertían también pequeñas cantidades de residuos industriales más o menos peligrosos.

- Sridharan & Didier (1988) confeccionan una completa tabla (columna 4) a partir de la información recopilada en 56 vertederos municipales de Wisconsin (USA).

- Cheremisinoff & Gigliello (1983) recopilan en la columna 5 los resultados de los análisis de 20 muestras de lixiviados procedentes de vertederos de R.S.U. de Norteamérica.

- Jasper *et al.* (1985) resumen en la columna 6 las características de los lixiviados del vertedero municipal de Port Mann (Surrey, B.C., Canadá).

- Beker (1988), tras trabajar en treinta vertederos de Holanda, resume en la columna 7 las composiciones de los lixiviados analizados. Los tipos de residuos vertidos se indican en la Tabla 5.6.

- Castrillón & Berrueta (1991), en base a análisis de los lixiviados producidos en el depósito central de COGERSA (Asturias, España) en el periodo Febrero de 1988 a Marzo del 1990, aportan los datos que aparecen en la columna 8.

- Iza *et al.* (1992) resumen en la columna 9 las características de los lixiviados producidos en el vertedero de Chicopee (Massachussetts, USA) tras realizar análisis mensuales durante algo más de 2 años. Este vertedero, de 80 ha de extensión, recibía unas 3.000 tm/día de R.S.U., de las cuales un 7% eran lodos de depuradora. Los caudales medios de lixiviados eran de 52 m^3/día.

- Manoharan *et al.* (1992), en la columna 10, caracterizan en base a análisis quincenales los lixiviados producidos en el vertedero de R.S.U. de Burns Bog (Vancouver, Canadá).

- Chilton & Chilton (1992), después de controlar el quimismo de los lixiviados de más de 60 vertederos de R.S.U. de Norteamérica, confeccionan los datos de la columna 11. En estòs vertederos, aparte de Residuos domiciliarios también se vertían ciertas cantidades de Residuos Industriales inertes asimilables a urbanos y cantidades menores de tierras y escombros.

- En la columna 12 se indica el quimismo medio de los lixiviados recogidos en el vertedero de R.S.U. de Kuchino (Moscú), en activo entre 1970 y 1983 (Minko & Lifshits, 1993).

- En la número 13, Tejero *et al.* (1993), presentan el rango de variación del quimismo de los lixiviados generados en el vertedero de R.S.U. de Meruelo (Cantabria, España).

- Jones Lee & Fred Lee (1993), basándose en datos publicados por otros autores referentes siempre a lixiviados de vertederos de R.S.U., confeccionan la tabla resumen que aparece en la columna 14.

- En la columna 15 se presenta otra tabla resumen, confeccionada por Clément *et al.* (1993), partiendo también de datos publicados por distintos autores.

- Flyhammar (1995), por su parte, presenta las características de los lixiviados recogidos en 55 vertederos municipales de Suecia de edades comprendidas entre 12 y 56 años.

- Por último, en la columna número 17 se presentan los resultados aportados por Howard *et al.* (1996) tras analizar lixiviados generados en 11 vertederos cercanos a la ciudad de Toronto (Canadá).

En la Tabla 5.10 se presentan únicamente los valores medios citados en la Tabla 5.9, así como los rangos típicos para cada parámetro obtenidos a partir de los valores medios. A partir de la información que aparece en estas tablas pueden deducirse algunas conclusiones respecto a la composición físico-química de los lixiviados de vertederos de R.S.U.:

- Es de destacar la gran variabilidad que presentan la mayor parte de los parámetros considerados tanto dentro de cada vertedero como entre los distintos vertederos. Los rangos de variación son extremadamente amplios para la mayoría de los parámetros en todos o casi todos los vertederos. Los ejemplos más claros de este hecho pueden apreciarse en los casos de

los parámetros TDS, TSS, alcalinidad, DQO y DBO_5, conductividad, Cl^- y Fe, que pueden aparecer en concentraciones comprendidas entre varias decenas o cientos de mg/l (µS/cm en el caso de la conductividad) y varias decenas de miles de las mismas unidades.

La variabilidad entre vertederos también es muy importante. Así, si comparamos los valores medios de los parámetros en los vertederos considerados, encontramos diferencias muy llamativas para algunos de ellos: alcalinidad (39-3.600 mg/l), DQO (327-15.000 mg/l), DBO_5 (24,6-10.500 mg/l), $N\text{-}NH_4^+$ (147-1.805 mg/l), conductividad (3.400-20.540 µS/cm), Fe (1,3-697 mg/l), Zn (0,15-21 mg/l).

Por ambas cuestiones debe concluirse que no puede hablarse de un quimismo excesivamente característico de los lixiviados generados en los vertederos de R.S.U. Las concentraciones de los parámetros analizados varían considerablemente a lo largo de la vida de los vertederos y no es posible generalizar los resultados obtenidos en uno o varios casos concretos dada la gran variabilidad que se aprecia entre vertederos.

- A pesar de ello, sí podemos deducir de estas tablas qué parámetros muestran normalmente las mayores concentraciones. Así, entre los iones mayoritarios destacan Cl^-, Na^+ y Ca^{2+}, con valores medios que suelen superar los 300 mg/l y en ocasiones superar los 1.000 mg/l. Los CO_3H^- también se presentan en grandes cantidades (los valores medios de la alcalinidad, debida básicamente a la presencia de este ión, sobrepasan en varias ocasiones los 2.000 mg CO_3H^-/l). En cambio, SO_4^{2-}, K^+ y Mg^{2+} se encuentran, salvo excepciones, en menores cantidades que los iones anteriores, y los NO_3^- y NO_2^- presentan concentraciones muy bajas, normalmente < 5 mg/l y < 1 mg/l respectivamente, aunque en algunos casos se han registrado valores medios de NO_3^- superiores a 100 mg/l (columna 7 y 16 de la Tabla 5.10).

Entre los metales el Fe es el más abundante en todos los casos, sobrepasando su valor medio los 400 mg/l en tres de los vertederos considerados. Por el contrario, Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg se presentan en muy pequeñas cantidades, con valores medios inferiores normalmente a 1 mg/l. En una posición intermedia se sitúan Mn, Zn y Al, con concentraciones medias normales menores de 4-5 mg/l.

La importante carga orgánica que contienen los lixiviados es puesta de manifiesto por los valores que toman la DQO, DBO_5, $N\text{-}NH_4^+$, NTK y TOC que, aunque muy variables de unos vertederos a otros, frecuentemente sobrepasan los varios miles de mg/l (DQO y DBO_5), los 1.000 mg/l (TOC), o los 150-200 mg/l ($N\text{-}NH_4^+$ y NTK).

Por último, parámetros como la conductividad y los TDS, también toman valores elevados (valores medios superiores a 3.000-4.000 µS/cm y 2.000 mg/l respectivamente). El pH, por su parte, presenta normalmente valores medios inferiores a 7,6.

	1			2	3		4			5			6			7			8		
	n	*Media-Q2*	*Rango*	*Rango*	*n*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*
pH	92	6,8-6,8	1,5-9,5	5,4-6,2	432	5,7-7,6	1.263 (1.263)	6,7	3,35-10,1	20	5,8	3,7-8,5	46	6,8	6,26-7,37	156	6,8	4,7-8,4	24	7,59	7,2-8,9
TDS	68	20.240-5.346	990-59.400	1.200-1.600			6 (6)	9.180	1.668-22.156	20	8.955	584-44.900	45	2.262	1.710-2.910						
TSS	8	915-570	21-3.670		812	100-1.000	601 (600)	129	1-89.800	20	220	10-26.500	45	160	40-556				20	908,5	335-2.600
Alcalinidad	68	2.062-1.225	0-13.500		50	500-10.000	790 (786)	2.300	4,9-44.000	20	3.050	0-20.850	45	39	19,9-46						
Dureza	68	2.332-1.600	100-7.200		92	500-10.000	1.000 (999)	2.000	1,14-40.000	20	2.750	0-22.800									
DQO	117	7.996-4.490	63-70.740	50-200	108	500-50.000	956 (949)	1.823	1,27-79.200	20	8.100	40-89.500	47	458	232-2.240	319	5.424	1-68.330	24	12.219	3.329-18.759
DBO_5	13	2.281-1.500	87-6.200		876	400-40.000	790 (777)	1.710	1-72.000	20	5.700	80-33.350	47	101	10,7-1.230						
TOC				250-1.000			227 (226)	1.438	0,3-45.100				47	181	60-565						
$N\text{-}NH_4^+$	103	158-82	1,8-1.250		28	0-350	152 (151)	217	0,13-5.810	20	218	0-1.106	48	154	51,9-236	72	237	6-1.410	24	1.805	926-2.523
NTK					32	25-1.500	280 (280)	237	0,5-3.600				47	177	64-277	124	438	3-2.250			
NO_3^-	14	0,46-0,1	0-1,8				97 (52)	2,05	0,1-240							8	218	0-1.740			
NO_2^-							33 (13)	0,06	0,005-1,46												
P total				2-20	92	0,10-10	209 (208)	1,81	0,005-240	20	10,1	0-130	47	1,15	0,58-2,2				24	8,65	0,5-36,2
PO_4^{3-}	15	5,16-1,8	0-52										21	0,09	< 0,02-0,46						
Conductividad	80	20.540-6.100	240-99.000	1.900-2.500	352	1.000-20.000	1.133 (1.132)	5.110	7,1-72.500				48	4.460	2.238-5.751						
Cl^-	114	773-562	31-4.350		98	100-2.500	893 (891)	486	0,89-27.100	20	700	4,5-2.500	43	376	93,9-498	146	743	26-7.122			
SO_4^{2-}	107	1.204-153	0-84.000		66	50-1.500	645 (573)	90	0,01-4.150	20	47	1-1.558	45	9,9	< 1-42,4	70	842	36-5.868			
CO_3H^-																					
Na^+	67	796-357	15-8.000	200-300	20	30-1.250	252 (251)	360	3,95-3.370	20	767	0-7.700	45	252	94,7-463	3	2.988	1.640-4.335			
K^+	69	270-150	2-1.920	40-400	7	30-550	77 (77)	100	2,74-1.425	20	371	28-3.770	45	226	84,5-373	3	1.813	1.450-2.190			
Ca^{2+}	67	635-430	23-3.050	150-500	7	200-2.000	78 (78)	354	25-2.100	20	438	60-7.200	46	316	160-668	21	787	33-3.677			
Mg^{2+}	65	260-200	12-1.102	85-180	7	120-780	56 (56)	91	6,55-780	20	230	17-15.600	45	63	31,5-101	21	177	20-729			
Ba	12	3,05-2,25	0,2-9		9	nd-9	70 (59)	0,32	0,012-33,3							33	0,556	0-7,81			
Fe	119	697-138	0,9-42.000		88	nd-500	518 (518)	73,5	0,024-57.300	20	94	0-2.820	45	59	24,5-127	27	417	1-2.300	7	24,8	14,1-54,3
Mn	67	27,5-9,2	0-678		19	nd-10	93 (93)	1,31	0,001-81	20	0,22	0,06-125	45	1,6	0,09-8,8				7	0,77	0,08-3,9
Al					7	nd-85	7 (5)	0,6	0,0015-0,9												
Zn	68	12,1-1,7	0-250		38	nd-75	115 (108)	0,889	0,003-71	20	3,5	0-370	45	0,34	0,113-2,91	140	0,72	0-30	7	1,72	0,6-3,5
Pb	113	0,43-0,1	0-6,6		46	nd-1,2	138 (99)	0,1	0,001-1,24	20	0,75	< 0,1-2	45	0,327	< 0,006-12,3	116	0,394	0-30,3	7	1,03	0,27-1,47
Ni	28	0,3-0,2	0-1,7		40	nd-3,3	101 (92)	0,26	0,0018-60				45	0,017	< 0,002-0,041	121	0,092	0-1,05			
Cr	45	0,58-0,05	0-22,5		42	nd-5,5	165 (100)	0,1	0,002-2,8				45	0,006	< 0,002-0,013	116	0,067	0-1,75	7	0,64	0,4-0,85
Cu	44	25,2-0,05	0-1.100		41	nd-0,5	113 (76)	0,05	0,007-35	20	0,5	0-9,9	26	< 0,3	< 0,3	120	0,030	0-0,83	7	0,18	0,07-0,25
Cd	42	0,1-0,03	0-1,16		53	nd-0,1	138 (67)	0,02	0,008-0,2				45	0,001	< 0,001-0,004	113	0,004	0-0,140	7	0,08	0,06-0,13
Hg	101	0,001-0,003	0-0,0003		24	nd-0,005	135 (25)	0,001	0,0001-0,016							61	0,001	0-0,026			
CN	13	0,03-0,028	0-0,08		27	nd-0,4	91 (63)	0,08	0,004-555												
Fenoles	14	1,94-0,77	0,17-6,6		20	2-20	128 (120)	0,619	0,00005-19												

Tabla 5.9. Características físico-químicas de lixiviados generados en vertederos de R.S.U.: 1 (Clark & Piskin, 1977); 2 (Fuller *et al.* , 1979); 3 (Kmet & McGinley, 1982); 4 (Sridharan & Didier, 1988); 5 (Cheremisinoff & Gigliello, 1983); 6 (Jasper *et al.* ,1985); 7 (Beker, 1988); 8 (Castrillón & Berrueta, 1991). Unidades en mg/l salvo pH y conductividad (µS/cm). n (nº de muestras); Q2 (mediana); ( ) (nº de muestras por encima del límite de detección); nd (no detectado, por debajo del límite de detección).

	9		10			11			12		13	14		15			16	17		
	Media-Q2	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*Media*	*Rango*	*n*	*Media*	*Rango*	*Media-Q2*	*n*	*Media*	*Rango*
pH	6,7-6,3	6,1-7,8	69	7,2	6,9-7,7	59	6,39	5,4-12,5			6,1-7,8	6,3	5-7,5	105	6,9	4,9-8,9	7,57-7,65			
TDS			69	2.310	1.370-3.330	28	4.890	390-31.800				11.000	1.000-20.000							
TSS						32	276	23-17.800			100-3.280			20	256	32-2.350				
Alcalinidad			7	1.560	1.240-1.920	29	2.650	470-57.850			850-7.700	3.600	500-10.000	45	964	80-26.000	1.113-787			
Dureza						26	1.665	0,8-9.380				4.200	500-10.000	70	1.083	127-11.267				
DQO	3.168-3.150	176-6.440	74	327	190-430	52	2.800	42-50.450			10.000-64.000	15.000	1.000-50.000	99	1.231	10-86.000	387-234			
DBO_5	1.786-1.760	33-4.500	64	24,6	7-62	33	2.310	7-29.200				10.500	1.000-30.000	63	388	0-73.000	61,5-34			
TOC						33	1.000	20-14.500				3.500	700-10.000	65	218	3-22.500				
$N\text{-}NH_4^+$			88	188	140-240	44	209	0,39-1.200			100-1.991	300	10-400	76	147	0,9-2.154		95	174,5	7,6-1.820
NTK			120	196	150-260	21	270	34-1.470				500	10-800	47	138	6-2.750	111,4-77,3			
NO_3^-						31	0,22	0,01-51			0,1-6,75	4	0,1-10	74	1,2	0-85	110,9-79,9	76	2,49	0,04-137
NO_2^-						8	0,03	0,005-0,2										47	0,077	< 0,01-66
P total						14	1,4	0,29-117	24	4,5		30	0,5-50	25	1,55	0,1-14	0,72-0,37			
PO_4^{3-}			92	0,95	0,1-6,4	4	1,2	0,42-7			0,1-6,75	22	1-60							
Conductividad			69	4.340	2.600-5.390	55	5.600	300-36.000				6700	2.000-8.000	70	6.303	295-38.000	3.400-2.670			
Cl^-						52	594	31-5.475				980	100-2.000	79	523	7-8.800	544-365	159	269,8	0,4-12.000
SO_4^{2-}						39	111	8-1.400			105-1.156	380	10-1.000	52	121	3-3.239		93	139,4	<1-4.200
CO_3H^-																		8	8367	2.050-18.910
Na^+						37	693	12-2.574	24	857		700	200-1.500	44	424	35-9.500		118	935,7	13,8-16.000
K^+						19	382	18-1.175	24	319				51	228	20-1.600		74	259,1	1,5-1.680
Ca^{2+}						19	320	96-2.100	24	118		1.000	100-3.000	57	253	50-3.650		113	579,8	2,8-4.580
Mg^{2+}						18	136	74-927	24	27,5		700	30-900	57	77	0,6-526		104	265,8	0,14-1.750
Ba						36	0,58	0,11-5	14	0,25										
Fe			27	9,1	2,4-66	55	95	0,22-2.280	24	1,3		430	10-1.000	68	11,5	0,05-1.995	9,06-7,35	131	58,05	0,01-1.300
Mn			27	1	0,6-3,3	43	3,7	0,03-79									1,59-1,10	105	3,54	0,03-793
Al						7	2,4	0,01-5,8	10	0,43								42	0,482	< 0,01-14
Zn	0,18-0,08	0,03-0,77	26	0,2	< 0,1-1,8	50	0,68	0,03-350	10	1,4		21	0,5-30	63	0,36	0-326	0,157-0,098	92	1,416	< 0,01-16
Pb	0,14-0,10	nd-0,3				45	0,063	0,05-1,6				0,5	0,1-1	49	0,047	0,001-46	0,0177-0,003	96	0,068	0,001-2,1
Ni	0,14-0,13	0,05-0,32	11	< 0,1	< 0,1	37	0,17	0,02-2,2	14	0,33		1,2	0,1-1	49	0,12	0-79	0,0311-0,225	84	0,279	0,025-2,9
Cr	0,02-0,02	nd-0,05	21	< 0,1	< 0,1	43	0,06	0,0005-1,9				0,9	0,05-1	54	0,067	0-23	0,223-0,001	101	0,09	0,006-2,5
Cu	0,04-0,02	nd-0,3				33	0,054	0,003-2,8	24	1,5		0,5	0,02-1	51	0,04	0-16	0,0392-0,0178	89	0,045	0,007-7
Cd	0,035-0,02	nd-0,31				31	0,0135	0,007-0,15				0,05	0,001-0,1				0,0020-0,0002			
Hg	0,0045-0,002	nd-0,03				16	0,0006	0,0001-0,01									0,00026-0,00020	19	0,0006	< 0,00003-0,002
CN						13	0,03	0,004-0,02										36	0,136	< 0,001-1,2
Fenoles	0,57-0,55	nd-1,35															0,061-0,0075			

Tabla 5.9. (continuación). Características físico-químicas de lixiviados generados en vertederos de R.S.U.: 9 (Iza *et al.* , 1992); 10 (Manoharan *et al.* , 1992); 11 (Chilton & Chilton, 1992); 12 (Minko & Lifshits,1993); 13 (Tejero *et al.* , 1993); 14 (Jones Lee & Fred Lee, 1993); 15 (Clément *et al.* , 1993); 16 (Flyhammar, 1995); 17 (Howard *et al.* , 1996). Unidades en mg/l salvo pH y conductividad (µS/cm). n (nº de muestras); Q2 (mediana); nd (no detectado, por debajo del límite de detección).

	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18
	Media	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Media*	*Rango de medias*
pH	6,8	6,7	5,8	6,8	6,8	7,59	6,7	7,2	6,39		6,3	6,9	7,57		5,8-7,59
TDS	20.240	9.180	8.955	2.262				2.310	4.890		11.000				2.262-20.240
TSS	915	129	220	160		908,5			276			256			129-915
Alcalinidad	2.062	2.300	3.050	39				1.560	2.650		3.600	964	1.113		39-3.600
Dureza	2.332	2.000	2.750						1.665		4.200	1.083			1.083-4.200
DQO	7.996	1.823	8.100	458	5.424	12.219	3.168	327	2.800		15.000	1.231	387		327-15.000
DBO_5	2.281	1.710	5.700	101			1.786	24,6	2.310		10.500	388	61,5		25-10.500
TOC		1.438		181					1.000		3.500	218			181-3.500
$N\text{-}NH_4^+$	158	217	218	154	237	1.805		188	209		300	147		174,5	147-1.805
NTK		237		177	438			196	270		500	138	111,4		111-500
NO_3^-	0,46	2,05			218				0,22		4	1,2	110,9	2,49	0,22-218
NO_2^-		0,06							0,03					0,077	0,03-0,06
P total		1,81	10,1	1,15		8,65			1,4	4,5	30	1,55	0,72		0,72-30
PO_4^{3-}	5,16			0,09				0,95	1,2		22				0,09-22
Conductividad	20.540	5.110		4.460				4.340	5.600		6.700	6.303	3.400		3.400-20.540
Cl^-	773	486	700	376	743				594		980	523	544	269,8	376-980
SO_4^{2-}	1.204	90	47	9,9	842				111		380	121		139,4	9,9-1.204
CO_3H^-														8367	
Na^+	796	360	767	252	2.988				693	857	700	424		935,7	252-2.988
K^+	270	100	371	226	1.813				382	319		228		259,1	100-1.813
Ca^{2+}	635	354	438	316	787				320	118	1.000	253		579,8	118-1.000
Mg^{2+}	260	91	230	63	177				136	27,5	700	77		265,8	27-700
Ba	3,05	0,32			0,556				0,58	0,25					0,25-3,05
Fe	697	73,5	94	59	417	24,8		9,1	95	1,3	430	11,5	9,06	58,05	1,3-697
Mn	27,5	1,31	0,22	1,6		0,77		1	3,7				1,59	3,54	0,77-27,5
Al		0,6							2,4	0,43				0,482	0,43-2,4
Zn	12,1	0,889	3,5	0,34	0,72	1,72	0,18	0,2	0,68	1,4	21	0,36	0,157	1,416	0,157-21
Pb	0,43	0,1	0,75	0,327	0,394	1,03	0,14		0,063		0,5	0,047	0,0177	0,068	0,0177-1,03
Ni	0,3	0,26		0,017	0,092		0,14	< 0,1	0,17	0,33	1,2	0,12	0,0311	0,279	0,0311-1,2
Cr	0,58	0,1		0,006	0,067	0,64	0,02	< 0,1	0,06		0,9	0,067	0,223	0,09	0,020-0,9
Cu	25,2	0,05	0,5	< 0,3	0,030	0,18	0,04		0,054	1,5	0,5	0,04	0,0392	0,045	0,0392-25,2
Cd	0,1	0,02		0,001	0,004	0,08	0,035		0,0135		0,05		0,002		0,002-0,1
Hg	0,001	0,001			0,001		0,0045		0,0006				0,00026	0,0006	0,00026-0,0045
CN	0,03	0,08							0,03					0,136	0,03-0,08
Fenoles	1,94	0,619					0,57						0,061		0,061-1,94

Tabla 5.10. Características físico-químicas de lixiviados generados en vertederos de R.S.U. (valores medios): 1 (Clark & Piskin, 1977); 4 (Sridharan & Didier, 1988); 5 (Cheremisinoff & Gigliello, 1983); 6 (Jasper *et al.* , 1985); 7 (Beker, 1988); 8 (Castrillón & Berrueta, 1991); 9 (Iza *et al.* , 1992); 10 (Manoharan *et al.* , 1992); 11 (Chilton & Chilton, 1992); 12 (Minko & Lifshits, 1995); 14 (Jones Lee & Fred Lee, 1993); 15 (Clément *et al.* , 1993); 16 (Flyhammar, 1995); 17 (Howard *et al.* , 1996). 18 (Rango de medias). Unidades en mg/l salvo pH y conductividad (µS/cm).

5.7. EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS

En el apartado 5.2 ya se hizo referencia a los principales cambios que se dan teóricamente en la composición de los lixiviados según cuál sea la fase evolutiva en que se encuentra el vertedero. Como también se explicó, la identificación de los supuestos cambios se hace más que difícil en el momento en que se trabaja en vertederos reales en los que no sólo se vierte basura de forma continua, sino que además los lixiviados muestreados son mezcla de los generados en las diferentes secciones activas y/o clausuradas de los mismos. En este apartado se aborda el estudio de la evolución temporal de las características de los lixiviados en base a estudios llevados a cabo en vertederos reales.

	EDAD (en años)			
Parámetro (en mg/l excepto pH)	de 0 a 5	de 5 a 10	de 10 a 20	Más de 20
DBO_5	10.000-20.000	1.000-4.000	50-1.000	< 50
DQO	15.000-40.000	10.000-20.000	1.000-5.000	< 1.000
NTK	1.000-3.000	400-600	75-300	< 50
$N\text{-}NH_4^+$	500-1.500	300-500	50-200	< 30
Alcalinidad	10.000-15.000	1.000-6.000	500-2.000	< 500
Sólidos Disueltos	10.000-25.000	5.000-10.000	2.000-5.000	< 1.000
pH	5,0-6,0	6,0-7,0	7-7,5	7,5
Ca^{2+}	2.000-4.000	500-2.000	300-500	< 300
Na^+-K^+	2.000-4.000	500-1.500	100-500	< 100
Mg^{2+}-Fe	500-1.500	500-1.000	100-500	< 100
Zn-Al	100-200	50-100	10-50	< 10
Cl^-	1.000-3.000	500-2.000	100-500	< 100
SO_4^{2-}	500-2.000	200-1.000	50-200	< 50
P total	100-300	10-100		< 10

Tabla 5.11. Rangos de concentración de diversos contaminantes en función de la edad del vertedero (Farquhar, 1986).

	EDAD		
Parámetro (en mg/l excepto pH)	Jóvenes	Intermedios	Antiguos
pH	5,7-8	6,4-8	6,6-8,3
DBO_5	7.500-17.000	370-1.100	70-260
DQO	10.000-48.000	1.200-22.000	670-1.900
$N\text{-}NH_4^+$	40-1.000	30-3.000	10-900
Zn	0,53-34,2	0,18-0,22	0,19-0,37
Mn	4,8-38,5	3,24	0,05-3,24
Ni	0,3-6,11	0,01	0,09-0,47
Cr	0,13-0,56	0,12	0,04-0,17
Cu	0,08-0,30	0,02-0,11	0,03-0,12
Pb	0,05-0,92	0,04-0,08	0,01-0,14
Cd	0,02-0,1	0,02	0,01

Tabla 5.12. Rangos de concentración de diversos contaminantes en función de la edad del vertedero (Lisk, 1991).

Farquhar (1986), en base a estudios propios y de otros autores, llega a confeccionar unas tablas en las que muestra los rangos de concentración de diversos contaminantes en función de la edad del vertedero. A excepción del pH, todos los parámetros listados disminuyen sus concentraciones con el tiempo (Tabla 5.11). Lisk (1991) también presenta una

tabla en el mismo sentido (Tabla 5.12). En este caso, los metales, tras descensos significativos entre edades jóvenes a intermedias, estabilizan sus concentraciones hasta etapas finales. En cambio, las concentraciones de $N\text{-}NH_4^+$ aumentan entre edades jóvenes a intermedias para luego volver a descender.

En la misma línea de investigación Ehrig (1988) diferencia dos tipos de parámetros: los que varían sensiblemente según cuál sea el estado evolutivo del vertedero (pH, DQO, DBO_5, algunos iones mayoritarios y metales más abundantes) y los que aparentemente, según él, no muestran tendencias evolutivas en el tiempo (Cl^-, Na^+, K^+, bastantes metales pesados, compuestos de N), (Tabla 5.13).

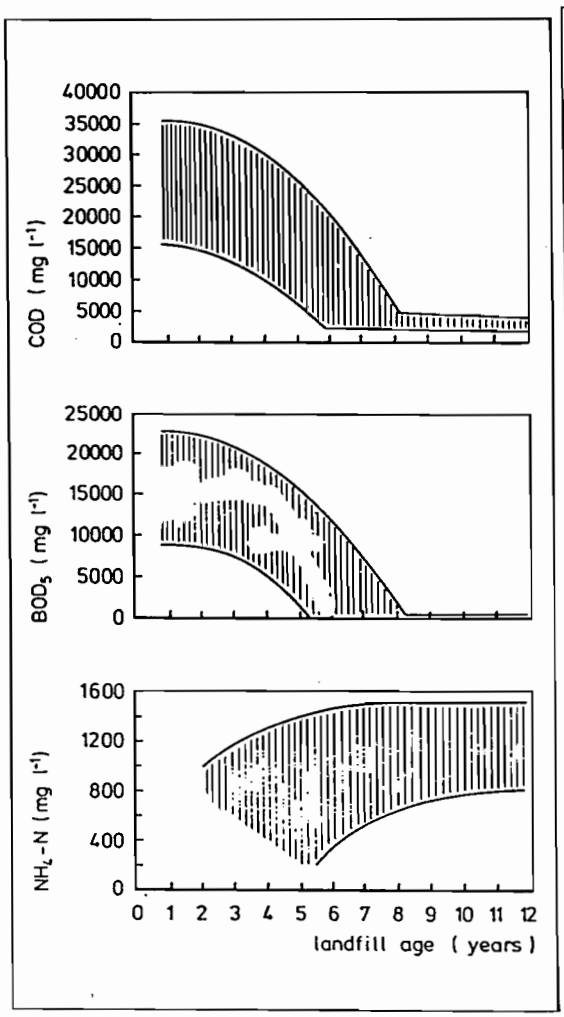
Parámetros con diferencias apreciables entre fases				
	Valor medio		*Rango*	
	Fase acética	Fase metánica	Fase acética	Fase metánica
pH	6,1	8	4,5-7,5	7,5-9
DBO_5 (mg/l)	13.000	180	4.000-40.000	20-550
DQO (mg/l)	22.000	3.000	6.000-60.000	500-4.500
DBO_5/DQO	0,58	0,06	-	-
SO_4^{2-} (mg/l)	500	80	70-1.750	10-420
Ca^{2+} (mg/l)	1.200	60	10-2.500	20-600
Mg^{2+} (mg/l)	470	180	50-1.150	40-350
Fe (mg/l)	780	15	20-2.100	3-280
Mn (mg/l)	25	0,7	0,3-65	0,03-45
Zn (mg/l)	5	0,6	0,1-120	0,03-4
Sr (mg/l)	7	1	0,5-15	0,3-7

Parámetros sin diferencias entre fases		
	Valor medio	*Rango*
Cl^- (mg/l)	2.100	100-5.000
Na^+ (mg/l)	1.350	50-4.000
K^+ (mg/l)	1.100	10-2.500
Alcalinidad (mg CO_3Ca/l)	6.700	300-11.500
$N\text{-}NH_4^+$ (mg N/l)	750	30-3.000
N org. (mg N/l)	600	10-4.250
N total (mg N/l)	1.250	50-5.000
NO_3^- (mg N/l)	3	0,1-50
NO_2^- (mg N/l)	0,5	0-25
P total (mg/l)	6	0,1-30
CN (mg/l)	-	0,04-90
AOX (µ Cl/l)	2.000	320-3.500
Fenoles (mg/l)	-	0,04-44
As (µg/l)	160	5-1.600
Cd (µg/l)	6	0,5-140
Co (µg/l)	55	4-950
Ni (µg/l)	200	20-2.050
Pb (µg/l)	90	8-1.020
Cr (µg/l)	300	30-1.600
Cu (µg/l)	80	4-1.400
Hg (µg/l)	10	0,2-50

Tabla 5.13. Parámetros con y sin diferencias durante la evolución del vertedero (Ehrig, 1988).

También Ehrig (1988), tras múltiples investigaciones en vertederos de R.S.U. de la antigua Alemania Federal, define las tendencias generales que siguen los parámetros DQO, DBO_5 y $N\text{-}NH_4^+$ en el tiempo. A diferencia de la DQO y DBO_5, las concentraciones de $N\text{-}NH_4^+$ podrían aumentar ligeramente con el tiempo (Figura 5.8). Así mismo, a partir de los resultados de los análisis de lixiviados generados en 20 vertederos en activo, confecciona las

gráficas de evolución para distintos parámetros (Figuras 5.9 y 5.10). En estas gráficas se aprecian descensos generalizados de las concentraciones de los parámetros estudiados salvo en el caso del pH, que aumenta, y del Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$, que se mantienen e incluso aumentan ligeramente.



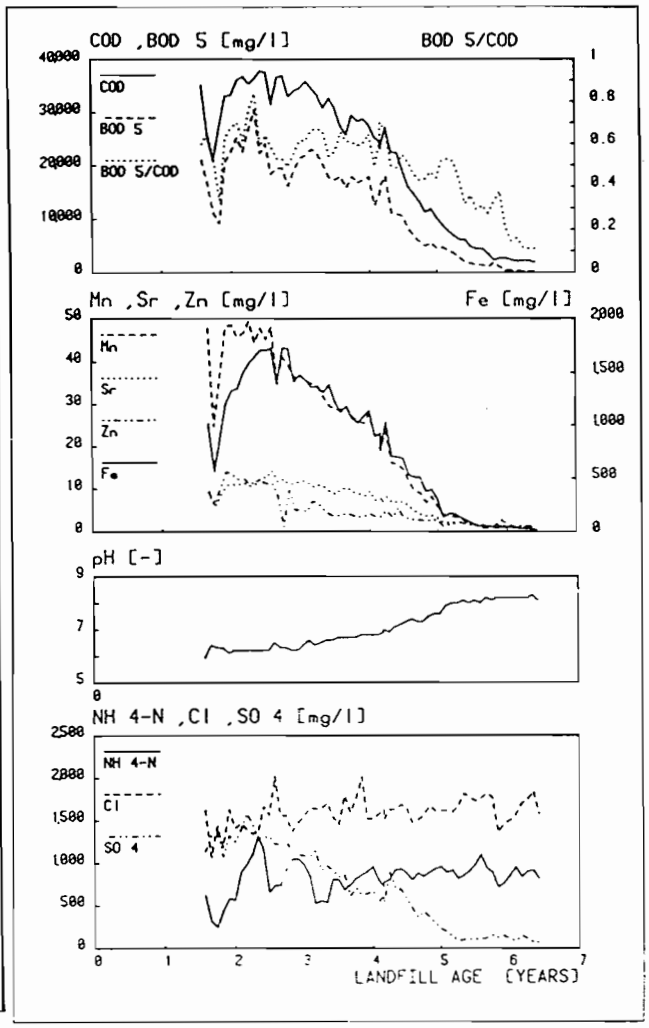


Figura 5.8 (izquierda). Tendencias generales que siguen los parámetros DQO (COD), DBO_5 (BOD_5) y $N\text{-}NH_4^+$ en el tiempo (Ehrig, 1988).

Figura 5.9 (derecha). Evolución temporal de algunos parámetros (COD=DQO; BOD_5=DBO_5) para vertederos en activo (Ehrig, 1988).

Hartmann & Hoffmann (1990) también presentan las tendencias que siguen en vertederos alemanes los parámetros DQO, DBO_5 y $N\text{-}NH_4^+$ dependiendo de la edad de los mismos (Figura 5.11), tendencias totalmente en consonancia con las propuestas por Ehrig (1988).

Robinson & Luo (1991), tras analizar los resultados de los análisis realizados en vertederos de Hong-Kong desde el momento en que comenzaron los vertidos, presentan las evoluciones que siguen los parámetros DQO y $N\text{-}NH_4^+$ (Figura 5.12). Mientras que la DQO, tras disminuciones importantes, mantiene valores más o menos estables, el $N\text{-}NH_4^+$ presenta en general evoluciones más homogéneas desde las etapas iniciales.

Robinson & Gronow (1993) presentan (Figura 5.13) la evolución temporal de algunos parámetros característicos (pH, DQO, DBO_5, Cl^-, $N\text{-}NH_4^+$) en los lixiviados de una de las celdas del vertedero de Compton Basset (Wiltshire, UK). La DQO y DBO_5 siguen tendencias similares a las citadas por el resto de autores referidos mientras que el pH, $N\text{-}NH_4^+$ y Cl^- presentan evoluciones diferentes (el pH no aumenta con el tiempo y el $N\text{-}NH_4^+$ y Cl^- descienden ligeramente).

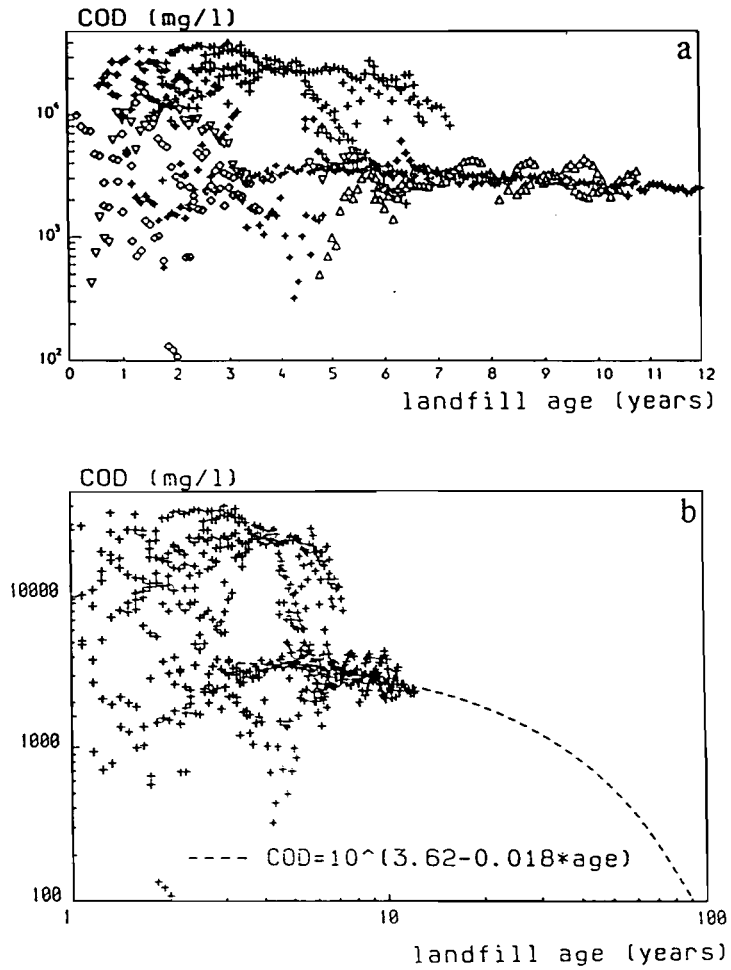


Figura 5.10. Valores medidos de DQO (COD) en lixiviados de diferentes vertederos y evolución futura deducida (Ehrig, 1988).

Iza *et al.* (1992) muestran las evoluciones de los parámetros DQO y DBO_5 a lo largo de más de dos años en los lixiviados generados en el vertedero de Chicopee (Massachussetts, USA), (Figura 5.14). Durante el periodo muestreado se registra un aumento, aunque no constante, de los valores medidos.

Por último, Capuano & Melli (1991) y Melli & Capuano (1993), también estudiaron la evolución de algunos parámetros (pH, conductividad, $N\text{-}NH_4^+$, DQO y Fe) en los lixiviados generados en las dos áreas del vertedero de Rio Vigne (Italia), siendo las evoluciones obtenidas comparables a las presentadas por los autores anteriores (Figura 5.15). El pH y $N\text{-}NH_4^+$,aumentan ligeramente mientras que la DQO y Fe tienden a disminuir. En la primera área se vertió desde 1983 hasta 1987, mientras que en la segunda se seguía vertiendo en el momento del estudio. El 65% de los materiales vertidos eran R.S.U., el 23% asimilables a urbanos y el resto fangos procedentes de depuradoras de aguas residuales.

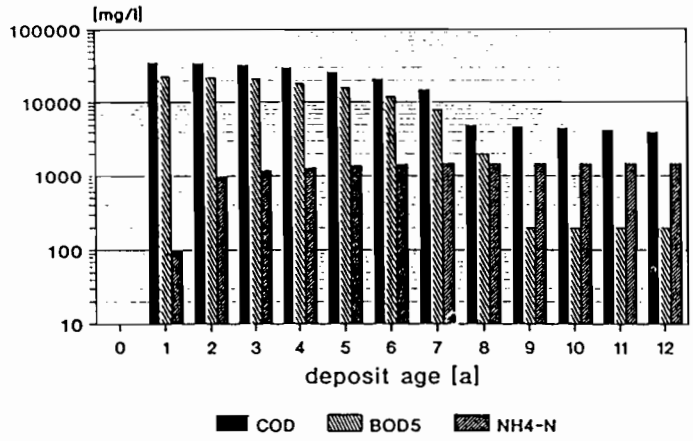


Figura 5.11. Tendencias que siguen la DQO (COD), DBO_5 (BOD_5) y N-NH_4^+ según la edad del vertedero (Hartmann & Hoffmann, 1990).

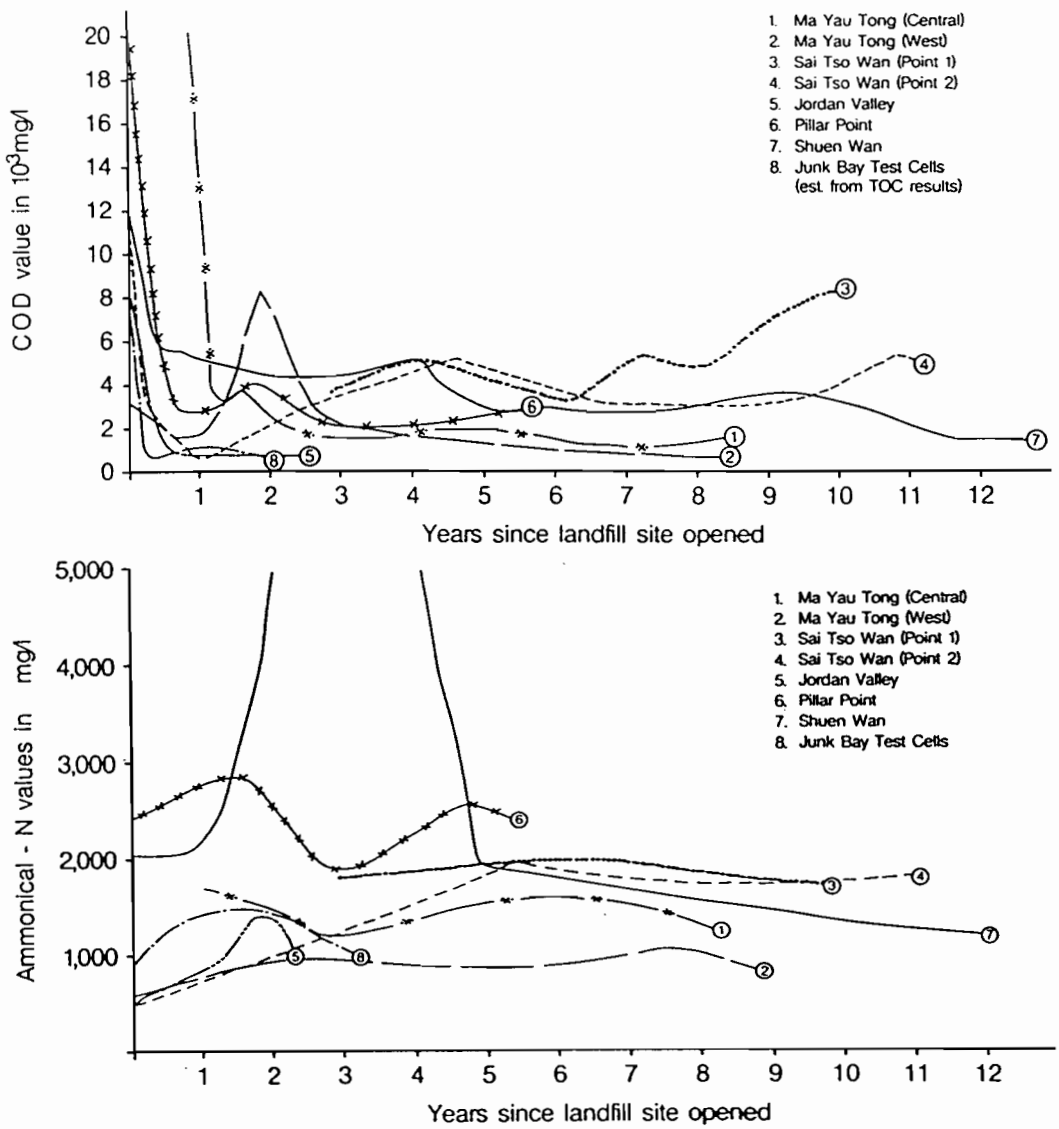


Figura 5.12. Evolución temporal de N-NH_4^+ y DQO (COD) en lixiviados de vertederos de Hong Kong (Robinson & Luo, 1991).

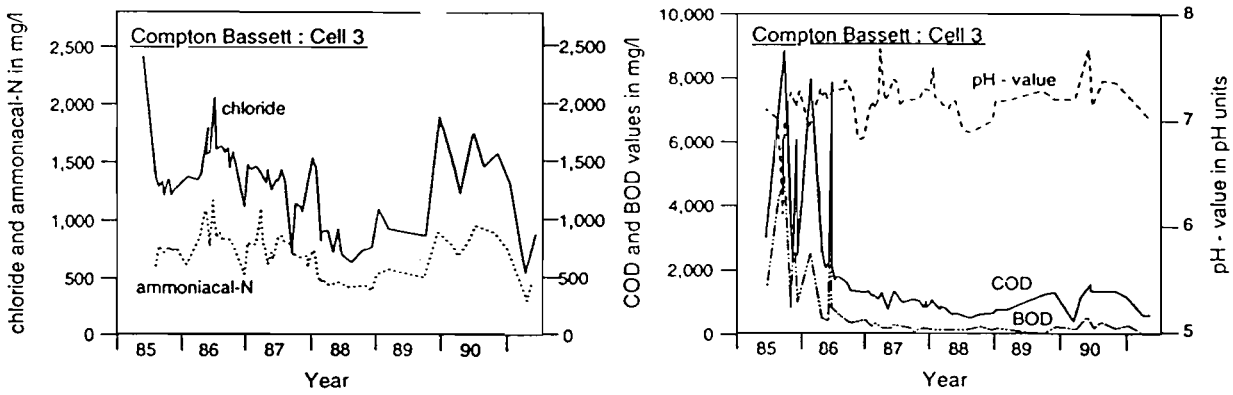


Figura 5.13. Evolución temporal de los parámetros pH, DQO (COD), DBO (BOD), Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$ en los lixiviados de una de las celdas del vertedero de Compton Basset (Wiltshire, UK), (Robinson & Gronow, 1993).

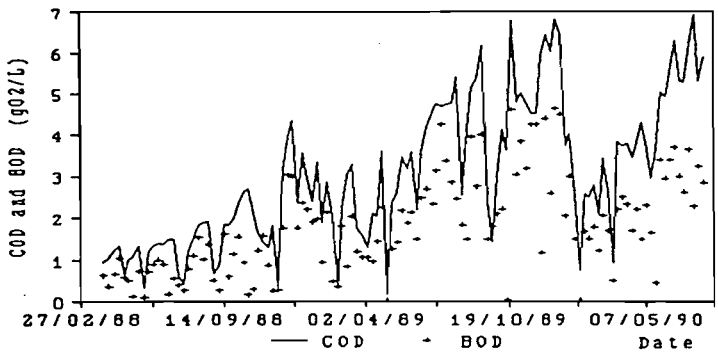


Figura 5.14. Variación diaria de la contaminación orgánica (COD=DQO; BOD=DBO) en el vertedero de R.S.U. de Chicopee (Massachussetts, USA), (Iza *et al.*, 1992).

Analizando comparativamente los resultados obtenidos por los autores citados podemos realizar algunas observaciones. Así, todos los autores, salvo Iza *et al.* (1992), definen disminuciones en el tiempo de los parámetros DQO y DBO_5. El $N\text{-}NH_4^+$, sin embargo, presenta evoluciones variables según los distintos autores. Para algunos permanece estable con el tiempo (Robinson & Luo, 1991), para otros sus concentraciones tienden a aumentar ligeramente (Ehrig, 1988; Hartmann & Hoffmann, 1990), mientras que para otros tiende a disminuir (Farquhar, 1986; Robinson & Gronow, 1993). El pH para la mayoría de los autores tiende a aumentar con el tiempo. Sólamente para Robinson & Gronow (1993) permanece más o menos estable en el tiempo. Los metales más abundantes (Fe, Mn, Zn) tienden a disminuir con el paso del tiempo (Farquhar, 1986; Lisk, 1991: Ehrig, 1988), al igual que el Cl^- (mismos autores y Capuano & Melli, 1991). Respecto al resto de parámetros, los pocos datos disponibles no permiten evidenciar ningún comportamiento general.

5.8. CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRIORITARIOS

Los residuos municipales vertidos en vertederos controlados siempre contienen pequeñas cantidades de contaminantes orgánicos prioritarios. Pesticidas, insecticidas, disolventes, productos de limpieza y otros tipos de compuestos se acumulan en los vertederos en ciertas cantidades como resultado de su presencia en algunos productos utilizados en las viviendas o debido a ciertas prácticas convencionales de recogida y vertido de residuos.

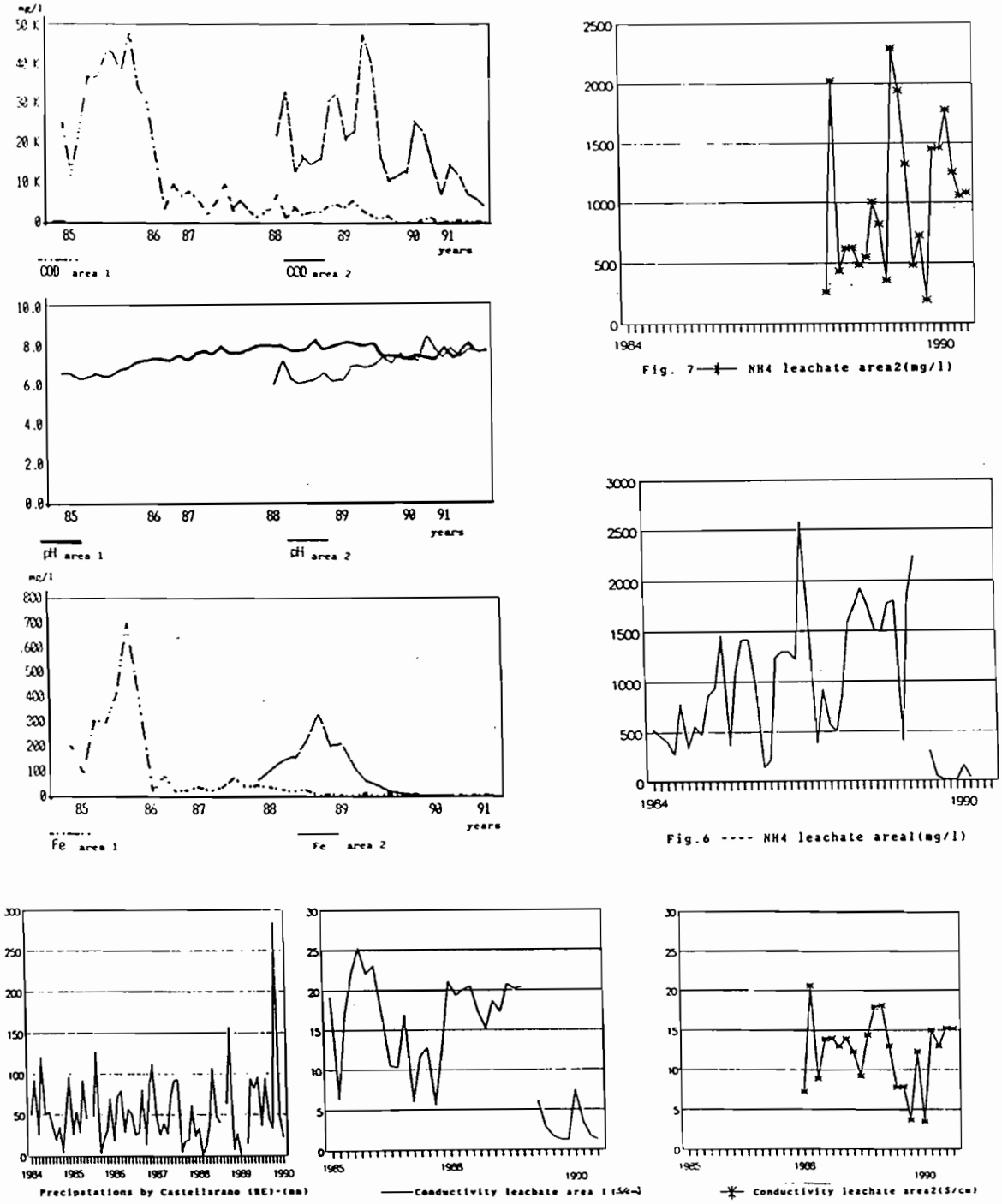


Figura 5.15. Evolución de los parámetros DQO (COD), pH, Fe, N-NH_4^+ y conductividad en los lixiviados generados en las dos áreas del vertedero de Río Vigne (Italia), Capuano & Melli (1991) y Melli & Capuano (1993).

La presencia de compuestos orgánicos tóxicos ha sido puesta en evidencia por múltiples autores, tanto trabajando con muestras de lixiviado procedente de lisímetros conteniendo únicamente residuos urbanos (Pohland *et al.*, 1987), como trabajando con muestras procedentes de vertederos de R.S.U. reales (Kmet & McGinley, 1982; Brown & Donnelly, 1988; Arneth *et al.*, 1989; Öman & Hynning, 1991, 1993; Lyngkilde & Christensen, 1992;

Kerfoot, 1993).

Arneth *et al.* (1989), tras comparar resultados de distintos estudios llevados a cabo tanto en USA como en Alemania, confeccionan una lista de los 15 contaminantes orgánicos detectados con mayor frecuencia en aguas subterráneas muestreadas en las proximidades de vertederos municipales en los que la afección de los lixiviados es evidente. Entre estos contaminantes predominan claramente sobre el resto los hidrocarburos alifáticos clorados (Figura 5.16).

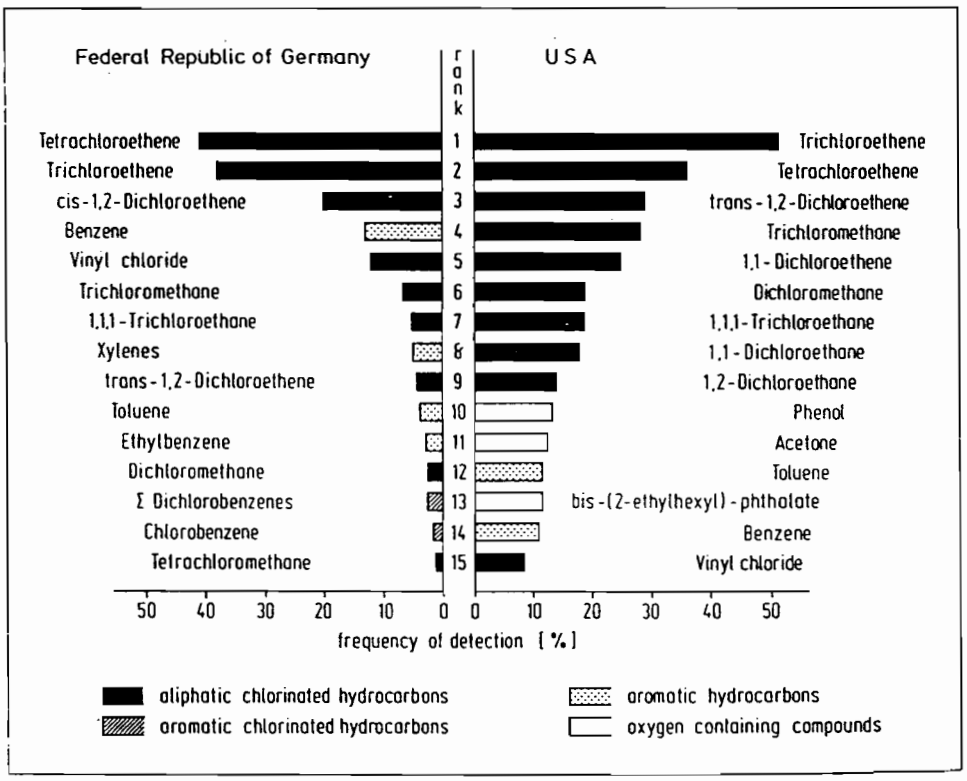


Figura 5.16. Lista de los 15 contaminantes orgánicos detectados con mayor frecuencia en aguas subterráneas afectadas por lixiviados procedentes de vertederos de R.S.U. (Arneth *et al.*, 1989).

A partir de los trabajos de estos autores mencionados podemos considerar a los compuestos orgánicos que se citan en la Tabla 5.14 como los más frecuentes en la composición de los lixiviados.

H.C. alifáticos	H.C. alifáticos clorados	H.C. aromáticos	H.C. aromáticos clorados	Otros
Acido hexanoico	Diclorometano	Benceno	Clorobenceno	Fenoles
Acido hexadecanoico	Triclorometano	Tolueno	Σ Diclorobenceno	Clorofenoles
Trietilfosfato	Tetraclorometano	Etilbenceno		Cresoles
Tributilfosfato	1,2 Dicloroetano	Xileno		Pesticidas
	1,2 Dicloroeteno	Naftaleno		Pesticidas clorados
	Tricloroetano	Fenantreno		
	Tricloroeteno			
	Tetracloroeteno			
	Cloruro de vinilo			

Tabla 5.14. Compuestos orgánicos más frecuentes en la composición de lixiviados de vertederos de R.S.U. (H.C.: hidrocarburos).

Por otra parte, son varios los autores que consideran que una parte importante de la carga orgánica de los lixiviados procede de los ácidos grasos volátiles (AGV) existentes. Ibáñez & Lema (1986), trabajando en el vertedero de Garraf (Barcelona), ofrecen datos exhaustivos de los contenidos en AGV así como de la relación AGV/DQOtotal (Tabla 5.15). Entre los ácidos grasos listados destacan por sus altas concentraciones el Acético, n-Butírico y Caproico, siendo el menos abundante el i-Valérico.

	pH	DQO	Proteína	Acético	Propiónico	n-Butírico	i-Valérico	n-Valérico	Caproico	% DQO (AGV) /DQOtotal
ago-83	8,2	18.000		3.200	800	1.400	300	500	1.300	65
sep-83	8,1	39.000		5.700	1.500	4.000	700	1.200	2.900	68
oct-83	8,2	39.000		5.300	1.400	3.900	600	1.100	3.000	67
nov-83	7,5	43.000	3.600	5.800	1.600	4.000	600	1.300	3.600	65
dic-83	7,8	48.000	3.400	7.100	1.900	5.100	800	1.600	4.200	72
ene-84	8,4	23.000	1.900	3.100	800	1.600	300	500	1.200	53
feb-84	8,4	25.000	2.500	3.500	900	1.600	400	500	1.400	53
mar-84	7,8	45.000	3.000	6.900	2.000	4.800	800	1.300	3.200	69

Tabla 5.15. Contenidos en AGV y relación AGV/DQO_{total} en lixiviados del vertedero de R.S.U. de Garraf (Barcelona), (Ibáñez & Lema, 1986).

5.8.1. POSIBLES MECANISMOS DE TRANSFERENCIA

El destino de contaminantes orgánicos prioritarios en los vertederos es función de los efectos de interacción entre varios mecanismos de movilización y transferencia de masa entre los que se incluye la adsorción, solubilización, volatilización, transformación química, biosorción y biodegradación (Pohland *et al.*, 1985):

La adsorción está influenciada por las características físicas y químicas de la superficie adsorbente así como por otras propiedades físico-químicas como son el pK (logaritmo negativo de la constante de equilibrio que caracteriza la disociación de ácidos y bases), el coeficiente de partición, la solubilidad y la polaridad.

La solubilización de compuestos en agua es de particular importancia ya que predice la tendencia de los compuestos a lixiviar. Por otra parte, para algunos compuestos volátiles las pérdidas por volatilización son bastante significativas dada su alta presión de vapor.

La transformación química incluye tanto la fotólisis como la hidrólisis. Como resultado de la hidrólisis se introducen grupos hidróxilos (-OH) en la estructura química de los compuestos en lugar de otros grupos (-X).

La biosorción es la sorción de compuestos en la biomasa. Esos compuestos son degradados mientras permanecen unidos a la biomasa. En cambio, la biodegradación es la transformación biológica de los compuestos en productos intermedios y finales como son CO_2, CH_4 y H_2O.

Los mecanismos predominantes de conversión o transferencia en un vertedero dado vendrán determinados por las propiedades físico-químicas y por la biodegradabilidad relativa o susceptibilidad a aclimatación de cada compuesto presente así como por la naturaleza biológica y físico-química del resto de los materiales presentes en el vertedero.

5.9. COMPOSICIÓN MICROBIOLÓGICA

Los residuos sólidos urbanos contienen amplias poblaciones microbianas y pueden estar fuertemente contaminados con microorganismos patógenos. Por esta razón, también los lixiviados salen con un importante nivel de contaminación microbiológica.

Las bacterias proceden mayoritariamente de los residuos domiciliarios. Los diferentes grupos funcionales de bacterias, todos mesofílicos (se desarrollan en temperaturas medias o moderadas) aeróbios o anaeróbios, permiten el desarrollo de la degradación dentro del vertedero, predominando en cada fase de la degradación un grupo más o menos concreto de bacterias. Por todo ello, el vertedero puede ser considerado como un reactor biológico real.

No se ha estudiado profundamente los peligros sanitarios de la diseminación en el medio de las bacterias patógenas. Varios autores (citados por Clément *et al.*, 1993) han enumerado y contado las bacterias existentes en los residuos domiciliarios llegando a la conclusión de que los contajes en residuos heterogéneos son poco representativos. Sin embargo, sí han identificado las principales fuentes de bacterias patógenas en los residuos domiciliarios. Así, citan los pañales de los bebés, las camas de los animales domésticos, los residuos hospitalarios y los residuos orgánicos (plantas, comidas). También aparecen bacterias en los lodos de depuradoras de aguas residuales.

Durante el proceso de la lixiviación, parte de estas bacterias van a parar a los lixiviados pudiendo, en última instancia, afectar al medio natural. Sin embargo, se ha puesto de manifiesto la persistencia en los lixiviados de algunos indicadores de contaminación fecal.

La revisión de varios estudios (Tabla 5.16, Clément *et al.*, 1993) muestra que el número de coliformes fecales decrece al aumentar la edad del vertedero mientras que el número de estreptococos no decrece de forma tan clara. Un depósito diario o regular de basuras se ha visto que contribuye a mantener un número relativamente alto en los lixiviados.

Autores	Tipo de estudio	Bacterias descritas	Resultados (bacterias/100 ml)
Cooper, 1975	lisímetro	Flora total	10^8 (inicial), 10^6 después de 20 semanas
		Estreptococos Fecales	10^6 (inicial), 10^5 después de 20 semanas
		Coliformes fecales	10^2 (inicial), 10 después de 20 semanas
Blannon & Peterson, 1974	vertedero	Coliformes fecales	1.5×10^6 en dos meses 30-180 en tres meses
		Estreptococos fecales	Detección durante 11 semanas al menos
Donnelly & Scarpino, 1984	vertedero (7 años)	Coliformes fecales	< 30
		Estreptococos fecales	200 - $3,5 \times 10^4$
Donnelly & Scarpino, 1984	lisímetro	Coliformes fecales	< 20 en 13 semanas, < 2 en 100 semanas
		Estreptococos fecales	4.9×10^2 - $2,6 \times 10^4$ en 13 semanas < 2 en 100 semanas

Tabla 5.16. Características bacteriológicas de lixiviados de vertederos de R.S.U. (Clément *et al.*, 1993).

Donnelly & Scarpino, 1984 (citados por Clément *et al.*, 1993) han aislado las siguientes bacterias en muestras de lixiviados: *Clostridium perfringens, Salmonella sp, Klebsiella sp, Listeria sp, Proteus sp, Providencia sp, Mycobacterium sp, Moraxella sp, Acinetobacter sp, Streptococus Faecalis*,.. Estos autores expresan la opinión de que los animales moviéndose

sobre el vertedero proporcionan un significativo número de bacterias. También ponen en evidencia la gran capacidad de desarrollo de los *Clostridium* en las basuras lo que da lugar a un gran número de estos microorganismos en los lixiviados. Este hecho lo relacionan con su gran capacidad de esporulación que les confiere una gran resistencia incluso en medios hostiles.

5.10. MODELOS DE COMPOSICIÓN DE LIXIVIADOS

Si bien se han desarrollado un buen número de modelos de composición de lixiviados, hasta el momento presente se puede afirmar que su utilidad se restringe únicamente a ámbitos de investigación. Se pueden citar entre otros (Kross, 1987):

- Qasim & Burchinal (1970)
- Revah & Avnimelech (1979)
- Wigh (1979)
- Phelps (sin fecha; en Kross, 1987)
- Straub & Lynch (1982)

Todos estos modelos intentan estimar los cambios en la calidad de los lixiviados en función del tiempo. Este problema se ha abordado desde dos puntos de vista:

- Por una parte, se ha intentado describir cuantitativamente los procesos físicos, químicos y biológicos que se espera que ocurran durante la descomposición en el vertedero y la continua percolación de agua. Así, Qasim & Burchinal (1970) usan el Cl^- como sustituto de la concentración del lixiviado en un modelo simple que tiene en cuenta la adsorción física y la solubilidad.

Phelps (en Kross, 1987) usa un modelo físico similar que simula las operaciones realizadas en el vertedero en base a ecuaciones diseñadas a partir de experimentos en columnas rellenas de residuos. Sin embargo, los resultados obtenidos al utilizar el modelo en un caso real no fueron buenos tras comparar los datos calculados y los observados.

Straub & Lynch (1982) desarrollan el modelo más avanzado y completo de los referidos para predecir la calidad de los lixiviados en vertederos controlados. Estos autores tienen en cuenta el comportamiento hidraúlico (en base principalmente a la ecuación de Darcy, siendo realmente un submodelo de cuantificación de las aguas de lixiviación), la formación de lixiviados inorgánicos y la composición orgánica en función de transformaciones físicas, químicas y biológicas. Este modelo lo propusieron en base a investigaciones realizadas en reactores verticales en cascada, en agitación continua y con diferentes niveles de O_2 y condiciones redox en cada compartimento.

- Otros autores, por el contrario, utilizan un enfoque diferente y proponen modelos de composición de lixiviados utilizando datos experimentales y curvas ajustadas. Así, Revah & Avnimelech (1979) usan curvas ajustadas para determinar la concentración de TOC, NO_3^- y Fe en lixiviados. Otro modelo más complejo que tenía en cuenta la concentración de los lixiviados y el volumen total de lixiviados producido fue desarrollado por Wigh (1979) en base a datos obtenidos en un lisímetro construido por la EPA en Kentucky (USA).

Baldi *et al.* (1993), dentro de un modelo global que evalúa la generación de lixiviados y

los procesos de asentamiento que tienen lugar en el vertedero, incluyen un módulo destinado a determinar la calidad de los lixiviados. Para ello consideran que cada nivel del vertedero (de espesor infinitesimal) se comporta como un reactor en el que el paso de los contaminantes de la fase sólida a la líquida puede describirse de dos formas: según una constante de velocidad para los iones muy solubles (Cl^-, Na^+, K^+, etc.), y de acuerdo a una dinámica de primer orden para los metales pesados y otros compuestos de baja solubilidad.

La modelización de la composición de los lixiviados es un campo más complejo y desconocido que el referente a la cuantificación o generación de lixiviados. Los modelos citados no se han mostrado hasta la fecha resolutivos a la hora de estimar la composición general de los lixiviados generados en un vertedero, por lo que es necesario seguir avanzando en el estudio de identificación y descripción de los procesos básicos que tienen lugar en la masa de basura, a fin de poder diseñar modelos realmente predictivos y aplicables a escala general.

CAPÍTULO 6

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN LOS VERTEDEROS DE R.S.U. ESTUDIADOS

6.1. Introducción 6.1

6.2. Procedimientos de muestreo y análisis 6.2

6.3. Análisis de calidad de la información de partida 6.5
- 6.3.1. Consideraciones generales 6.5
- 6.3.2. Criterios utilizados 6.5
  - 6.3.2.1. Balances iónicos 6.6
  - 6.3.2.2. Umbrales de anomalías 6.7
  - 6.3.2.3. Métodos gráficos 6.10

6.4. Tratamiento estadístico de la información 6.10
- 6.4.1. Introducción 6.10
- 6.4.2. Análisis univariante 6.12
  - 6.4.2.1. Tratamiento de los datos del tipo "menor que" 6.14
- 6.4.3. Métodos de correlación 6.15
- 6.4.4. Análisis multivariante 6.15
  - 6.4.4.1. Técnicas de clasificación jerárquica (análisis Clusters) 6.15
  - 6.4.4.2. Análisis factorial (Análisis por Componentes Principales) 6.16

6.5. Caracterización físico-química de los lixiviados estudiados. Por vertederos 6.17
- 6.5.1. Métodos empleados 6.17
- 6.5.2. Vertedero de Lapatx 6.19
- 6.5.3. Vertedero de San Marcos 6.25
- 6.5.4. Vertedero de Petritegi 6.30
- 6.5.5. Vertedero de Ventas 6.36
- 6.5.6. Vertedero de Urteta 6.42
- 6.5.7. Vertedero de Sasieta 6.48
- 6.5.8. Vertedero de San Blas 6.53
- 6.5.9. Vertedero de Góngora 6.58
- 6.5.10. Caracterización conjunta de los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa 6.62
  - 6.5.10.1. Distribuciones características de los parámetros considerados 6.63
  - 6.5.10.2. Cationes, aniones y metales más característicos 6.67
  - 6.5.10.3. Tendencias y evoluciones similares 6.69
  - 6.5.10.4. Parámetros relacionados 6.73
  - 6.5.10.5. Análisis Cluster y ACP 6.75
  - 6.5.10.6. Tratamiento conjunto de la información disponible 6.79
  - 6.5.10.7. Comparación con los lixiviados de Góngora 6.87
- 6.5.11. Calidad físico-química de los lixiviados 6.92
- 6.5.12. Conclusiones 6.95

6.6. Caracterización físico-química de los lixiviados estudiados. Por parámetros 6.100
- 6.6.1. Métodos empleados 6.100
- 6.6.2. Parámetros físico-químicos básicos 6.101
- 6.6.3. Parámetros indicativos de contaminación orgánica 6.106
- 6.6.4. Metales 6.112
- 6.6.5. Iones mayoritarios y minoritarios 6.119
- 6.6.6. Otros parámetros 6.129
- 6.6.7. Conclusiones 6.130

6.7. Comparación con la caracterización recogida en la bibliografía 6.132

6.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 5, en el que se presentan las principales características de los lixiviados generados en vertederos de R.S.U. en base a las investigaciones realizadas por múltiples autores tanto en celdas experimentales como en ensayos de laboratorio, se pusieron de manifiesto algunas conclusiones básicas, entre las que pueden destacarse:

- La existencia de fases temporales en la evolución de un vertedero de R.S.U. que quedan reflejadas en el quimismo de los lixiviados.

- La influencia que ejercen una serie de factores (composición de la basura y de los demás materiales vertidos, edad del vertedero, sistema de explotación, etc.) sobre el quimismo de los lixiviados.

- La gran variabilidad que presentan la mayor parte de los parámetros analizados habitualmente en los lixiviados, tanto dentro de un mismo vertedero (variabilidad temporal) como entre distintos vertederos (variabilidad espacial). No puede hablarse, por tanto, de un quimismo claramente característico de los lixiviados generados en los vertederos de R.S.U.

- Entre los parámetros que muestran normalmente las mayores concentraciones destacan, entre los iones mayoritarios, CO_3H^-, Cl^-, Na^+ y Ca^{2+}. La conductividad y los TDS también toman valores elevados. Entre los metales, el Fe es el más abundante prácticamente siempre. En cambio, Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg se presentan en muy pequeñas cantidades, con valores medios inferiores normalmente a 1 mg/l. En una posición intermedia se sitúan Mn, Zn y Al.

- La importante carga orgánica que contienen los lixiviados es puesta de manifiesto por los valores que toman la DQO, DBO_5, $N\text{-}NH_4^+$, NTK y TOC que, aunque muy variables de unos vertederos a otros, frecuentemente sobrepasan algunos miles de mg/l (DQO y DBO_5), los 1.000 mg/l (TOC), o los 150-200 mg/l ($N\text{-}NH_4^+$ y NTK). El pH, por su parte, presenta normalmente valores medios inferiores a 7,6.

- Los parámetros DQO y DBO_5 tienden a disminuir sus concentraciones con el tiempo. Sobre la evolución temporal del $N\text{-}NH_4^+$, no hay, sin embargo, un acuerdo unánime. Para algunos autores permanece estable con el tiempo, para otros sus concentraciones tienden a aumentar ligeramente, mientras que para otros tienden a disminuir. El pH para la mayoría de los autores tiende a aumentar con el tiempo. En cambio, los metales más abundantes (Fe, Mn, Zn) tienden a disminuir, al igual que el Cl^-.

Estas observaciones realizadas tras la recopilación bibliográfica efectuada en el capítulo 5 deben de ser, lógicamente, comparadas con los resultados obtenidos tras estudiar las características físico-químicas de los lixiviados generados en los vertederos objeto de estudio en la presente investigación (7 de Gipuzkoa, 2 de ellos ya clausurados, y 1 de Navarra). En este capítulo se abordan estos aspectos. Tras explicar los procedimientos de muestreo y análisis de los lixiviados, los análisis de calidad y el tratamiento estadístico realizado de la información de partida, se estudia exhaustivamente el quimismo de los lixiviados tanto vertedero a vertedero como parámetro a parámetro, comparándose, así mismo, el quimismo de los lixiviados de todos los vertederos entre sí. Por último, se comparan los resultados obtenidos con los ya mencionados en el capítulo anterior y se resumen las principales conclusiones obtenidas.

6.2. PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

La recogida de muestras se ha realizado, en todos los vertederos excepto en el de Sasieta, en las arquetas de control situadas justo al final de los sistemas de drenaje de los lixiviados. En el vertedero de Sasieta debieron ser recogidas del depósito existente, por lo que las muestras no son representativas del quimismo de los lixiviados en el instante del muestreo, sino que reflejan el de la mezcla de los lixiviados generados durante una serie de días (normalmente menos de una semana, que es el tiempo medio que se tarda en proceder al vaciado del depósito y traslado de los lixiviados a depuradora).

La inmensa mayoría de las muestras han sido recogidas por miembros del Servicio de Medio Ambiente de la Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia (en el Anexo 6.1 se indica la procedencia de los análisis considerados junto con las fechas de muestreo). La periodicidad del muestreo ha sido variable a lo largo de los 6 años de los que se dispone de información, aunque normalmente se ha producido cada 15 días. Con pocas excepciones, se visitaban en el mismo día los siete vertederos de Gipuzkoa. Las muestras, sin acidificar, fueron recogidas en botes de polietileno de 500 cm^3. Desde Mayo de 1993 también se midieron en el momento del muestreo la temperatura, el pH y la conductividad, para lo que se emplearon equipos de campo portátiles.

Una vez terminada la recogida de muestras, eran llevadas al Laboratorio Agrario de Fraisoro, perteneciente a la Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia, donde se realizaron todas las determinaciones físico-químicas, excepto las de TOC, que se efectuaban en la Escuela de Ingeniería Técnica de Tolosa (Gipuzkoa). El máximo tiempo transcurrido entre la recogida de la primera muestra y la recepción de todas ellas en el laboratorio era de unas 6-7 horas. Una vez en el laboratorio, se volvía a determinar la conductividad y el pH y se procedía a la subdivisión y conservación de la muestra. El resto de análisis se iniciaban en el mismo día o en el posterior al de la recepción. Estos procedimientos de muestreo y análisis, prácticamente sin modificaciones, siguen vigentes en la actualidad.

En conjunto, en el laboratorio de Fraisoro se analizaron 585 muestras, habiéndose efectuado más de 12.500 determinaciones. De forma general se analizaban en cada muestra los siguientes parámetros: pH, conductividad, Turbidez, Sólidos en suspensión (S.S.), Cl^-, NH_4^+, Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK), PO_4^{3-}, DQO, DBO_5, Cianuros (CN), Hg, C.a.e. (coeficiente de absorción específica), Al, Fe, Mn, Zn, Cr. Otros parámetros analizados con menor frecuencia han sido: Cu, Ni, Cd, Pb, NO_3^-, SO_4^{2-}, Fenoles, NO_2^-, Fósforo, Detergentes, Sulfuros, Cr^{6+}, CO_3^-. A partir de Julio de 1993 también se analizaron de forma sistemática los iones Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} y CO_3H^-, así como el TOC (carbono orgánico total) a partir de Noviembre de 1993.

Las técnicas analíticas utilizadas en el laboratorio de Fraisoro se citan en la Tabla 6.1. Hay que mencionar que los metales se analizaron hasta Mayo de 1991 sobre muestra filtrada, analizándose a partir de esa fecha sobre muestra digerida. A partir de Mayo de 1993, todas las determinaciones fueron efectuadas por una misma persona, conociéndose las distintas incidencias de los análisis. Ello hace que la confianza en estos análisis sea mayor que la de los efectuados con anterioridad, en los que se desconoce exactamente el número de personas que intervino, los problemas surgidos con los aparatos de medida y demás incidencias.

PARAMETRO	L. DETECCION	UNIDADES	TECNICA ANALITICA	APARATO
pH			Potenciométrica	Orion 801 pHímetro
Conductividad		µS/cm	Conductimetría con compensación de Temperatura	Orion Conductimeter 525
Turbidez	< 0,1	UNF	Turbidimetría	Hach 2100A turbidimeter
S. suspensión	< 5	mg/l	Gravimetría tras filtración sobre membrana	-
CO_3^{2-}	< 5	mg/l	Volumetría de Neutralización	Metrohm 682 Tibroprocessor
CO_3H^-	< 5	mg/l	Volumetría de Neutralización	Metrohm 682 Tibroprocessor
Cl^-		mg/l	Cromatografía iónica con supresión electrónica y detector de conductividad	HPLC Waters 600E System Controller
SO_4^{2-}		mg/l	Cromatografía iónica con supresión electrónica y detector de conductividad	HPLC Waters 600E System Controller
Ca^{2+}		mg/l	Cromatografía iónica con supresión electrónica y detector de conductividad	HPLC Waters 600E System Controller
Mg^{2+}		mg/l	Cromatografía iónica con supresión electrónica y detector de conductividad	HPLC Waters 600E System Controller
Na^+		mg/l	Cromatografía iónica con supresión electrónica y detector de conductividad	HPLC Waters 600E System Controller
K^+		mg/l	Cromatografía iónica con supresión electrónica y detector de conductividad	HPLC Waters 600E System Controller
NTK	0,3	mgN/l	Digestión Kjeldhal y autoanalizador FIA- Difusión de Amonio a través de membrana	*
NH_4^+	< 0,01	$mgNH_4^+/l$	Autoanalizador FIA- Difusión de Amonio a través de membrana	**
NO_3^-		mg/l	Cromatografía iónica con supresión electrónica y detector de conductividad	HPLC Waters 600E System Controller
PO_4^{3-}	< 0,03	mg/l	Autoanalizador FIA-Método de cloruro estannoso	**
Detergentes	< 0,1	mg Lausil/l	Autoanalizador FIA con módulo de extracción. Método del azul de metileno	**
DQO	< 15	mgO_2/l	Oxidación con $Cr_2O_7K_2$ y lectura colorimétrica	
DBO_5	< 2	mgO_2/l	Incubación a 20° C durante 5 días y lectura manométrica	
CN total	< 0,03	mg/l	Destilación previa y autoanalizador FIA. Modelo de la cloramida T	**
Fenol	< 0,1	mgC_6H_5OH/l	Destilación previa y autoanalizador FIA. Modelo de la Aminoantipirina	**
Al	< 0,01	mg/l	Digestión ácida previa. Autoanalizador FIA. Método del violeta de Pirocatecol	*
Fe	< 0,02	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Mn	< 0,02	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Zn	< 0,02	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Cu	< 0,02	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Cd	< 0,002	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Pb	< 0,002	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Cr	< 0,002	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Ni	< 0,002	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama aire-acetileno)	***
Hg	< 0,001	µg/l	Digestión ultravioleta previa. Polarografía.	705 UV Metrohm Digester. 646 VA Processor
C.a.e.	< 0,1	m^{-1}	Lectura espectrofotométrica a 254 nm	Perkin E. Lambda 1A UV/VIS Spectrophotometer

(*) Digestor TecniT Controlador PTT-60 Tecator FIA. Star 5010 Analyzer

(**) Tecator FIA. Star 5010 Analyzer

(***) Digestor TecniT Controlador PTT-60 Tecator. Perkin Elmer 2380 Atomic Absorption Spectrophotometer

Tabla 6.1. Técnicas analíticas empleadas en el laboratorio agrario de Fraisoro (Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia).

En el vertedero de San Marcos también la empresa responsable de su gestión, Fomento de Construcciones y Contratas (FCC), ha efectuado muestreos de los lixiviados en la arqueta de control de forma quincenal desde Enero de 1993. Las muestras, sin acidificar, eran tomadas en botes de polietileno de 500 cm^3 por un empleado de la empresa que las llevaba inmediatamente al laboratorio de Osakidetza de Donostia-San Sebastián.

En los vertederos de Lapatx, San Marcos, Ventas y Urteta, también se muestrearon los lixiviados en varias ocasiones durante finales de 1989 y principios de 1990 en el marco de un estudio efectuado por el Dpto. de Medio Ambiente y Química de LABEIN y el Grupo de Hidrogeología de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (LABEIN & Grupo de Hidrogeología, 1990).

En lo que respecta al vertedero de Góngora, la periodicidad del muestreo ha sido semanal desde el inicio de la actividad del vertedero (finales de 1992). Las muestras han sido recogidas por técnicos de "Servicios de la Comarca de Pamplona S.A.". Las determinaciones se han realizado en el laboratorio del propio vertedero y en el de la EDAR de Arazuri, pertenecientes ambos a la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona-Iruñerriko Mankomunitatea. Se han analizado 108 muestras en total (unas 1.900 determinaciones).

En la Tabla 6.2 se muestra la distribución de los análisis considerados en función de los años y en función de la procedencia de los mismos. El vertedero del que se disponen de más muestras es el de San Marcos, con 162 muestras analizadas en 3 laboratorios diferentes, mientras que del de San Blas únicamente se disponen de 38 muestras, todas ellas analizadas en el laboratorio de Fraisoro. Por procedencia destaca el mencionado laboratorio de Fraisoro, en el que se han analizado el 76,7% de las muestras consideradas.

	LAPATX	S.MARCOS	PETRITEGI	VENTAS	URTETA	SASIETA	SAN BLAS	GONGORA	
1989	9	14	5	5	2	-	-	-	
1990	20	19	17	22	14	-	-	-	
1991	15	15	15	15	15	8	-	-	
1992	13	19	14	14	14	13	-	-	
1993	24	52	25	23	25	25	17	56	
1994	19	43	21	20	21	21	21	52	*TOTAL*
SUBTOTAL	100	162	97	99	91	67	38	108	762

	Fraisoro	LABEIN	Osakidetza	Góngora	
LAPATX	96	4	-	-	
S.MARCOS	105	4	53	-	
PETRITEGI	97	-	-	-	
VENTAS	95	4	-	-	
URTETA	87	4	-	-	
SASIETA	67	-	-	-	
SAN BLAS	38	-	-	-	
GONGORA	-	-	-	108	*TOTAL*
SUBTOTAL	585	16	53	108	762
%	76,7	2,01	6,9	14,1	100

Tabla 6.2. Distribución de los análisis efectuados por años y por procedencia.

Las técnicas analíticas empleadas en los laboratorios de Osakidetza de Donostia-San Sebastián, en el del vertedero de Góngora y en los de los laboratorios LABEIN de Bilbao se presentan en los Anexos 6.2 y 6.3.

6.3. ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN DE PARTIDA

6.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

A pesar de que la calidad de la información utilizada en este estudio es elevada, al haber sido efectuados todos los análisis en laboratorios homologados, se ha visto la necesidad de eliminar una mínima parte de los datos tras comprobarse que, al realizar un primer tratamiento gráfico y estadístico, existían serias dudas sobre su validez. La totalidad de la información de partida se presenta para cada vertedero en el Anexo 6.4 (las determinaciones eliminadas tras aplicar los criterios que se describen en los próximos apartados aparecen en cursiva). Entre los posibles factores que pueden introducir errores en los resultados finales pueden citarse:

- El hecho de intervenir diferentes personas en el proceso de muestreo, conservación y análisis de las muestras analizadas. Excepto en los 2 últimos años, se desconoce exactamente el número de personas que intervino en el análisis último de las muestras, los problemas surgidos con los aparatos de medida y demás incidencias.

- Contaminación de muestras durante el muestreo, transporte y manipulación de las mismas.

- Algunos cambios en las técnicas analíticas empleadas a lo largo del periodo considerado en la determinación de ciertos parámetros (metales, por ejemplo, que se analizaron hasta mayo de 1991 sobre muestra filtrada, y a partir de esa fecha sobre muestra digerida).

- Problemas de interferencias durante los análisis debidos a las altas concentraciones presentes en gran parte de los elementos a analizar.

- Errores en la calibración de los aparatos o incluso en la transcripción de los datos.

Por todo ello, se ha considerado oportuno considerar una serie de criterios que, limitando en la medida de lo posible la subjetividad propia de los mismos, nos permitan realizar el descarte de esta parte de la información que es considerada como "dudosa".

6.3.2. CRITERIOS UTILIZADOS

Como criterios a la hora de eliminar determinaciones concretas en unos casos y análisis completos en otros se han considerado:

- El cálculo del error del balance iónico de los análisis en el caso de que éstos fuesen completos (normalmente, todos los análisis de lixiviados de vertederos de Gipuzkoa efectuados a partir de Julio de 1993).

- La determinación de los umbrales de anomalía correspondientes a cada variable considerada.

- Métodos gráficos simples consistentes en gráficos de evolución de diferentes variables analizadas en los lixiviados de un mismo vertedero, y en gráficos comparativos de la evolución de una misma variable en los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa.

Como norma general, se ha intentado eliminar la menor cantidad posible de datos. Por

este motivo, en ocasiones se han considerado varios criterios al mismo tiempo.

A continuación se desarrolla por separado cada criterio, informándose del número de determinaciones y/o análisis eliminados al considerar cada uno de ellos.

6.3.2.1. BALANCES IÓNICOS

En un análisis químico completo debe verificarse que la suma de miliequivalentes de aniones sea igual a la suma de miliequivalentes de cationes:

$$r\ (CO_3H^-,\ Cl^-,\ SO_4^{2-},\ NO_3^-) = r\ (Na^+,\ K^+,\ Ca^{2+},\ Mg^{2+},\ NH_4^+)$$

donde r = meq/l

En el caso de aguas no contaminadas, puede despreciarse el K^+, NO_3^- y NH_4^+, no así en el caso de lixiviados de vertederos u otros efluentes con una carga contaminante elevada. Si existe una diferencia muy importante, sólo puede ser debido al hecho de que existan cantidades anormales de iones minoritarios o a un error grave en el análisis.

Si $\sum$cat y $\sum$an representan respectivamente las sumas de miliequivalentes de cationes y de aniones, el % de error del balance del análisis viene dado por:

$$error(\%) = 200\frac{\sum cat - \sum an}{\sum cat + \sum an}$$

El error admisible depende del tipo de agua que se esté considerando. En general, suelen considerarse los valores citados por Custodio & Llamas (1983) en función de la conductividad de las aguas:

Conductividad (µS/cm)	50	200	500	2.000	> 2.000
Error admisible (%)	30	10	8	4	4

Tabla 6.3. Errores de referencia para el balance de análisis (Custodio & Llamas, 1983).

En este caso, únicamente se han eliminado los análisis con un error superior al 20%, error que aunque está muy por encima del propuesto en la tabla anterior, se ha considerado como oportuno, teniendo en cuenta el esfuerzo que ha supuesto la obtención de estos datos, así como la posibilidad de que algunos errores se deban a la falta de análisis de algún ión minoritario que en el caso de los lixiviados pueda alcanzar concentraciones apreciables.

Los errores de los análisis completos disponibles se indican en la Tabla 6.4. Como se ve, un alto porcentaje de los análisis tienen un error relativamente alto, por lo que el aplicar como criterio un error menor, por ejemplo, el 10%, hubiese supuesto una pérdida muy importante de información.

Inicialmente sólo se eliminaban las determinaciones de aniones y cationes de las muestras en cuestión (CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+), manteniéndose las del resto de parámetros analizados. Con posterioridad, si en el mismo análisis aparecían más valores anómalos tras aplicar alguno de los métodos que a continuación se describen, se procedía a eliminar el análisis en su totalidad por considerarse erróneo.

	LAPATX	S. MARCOS	PETRITEGI	VENTAS	URTETA	SASIETA	SAN BLAS
5/7/93	-	-	-	-	-	-	-
19/7/93	-12,88	0,19	-8,59	-1,81	-12,40	-6,73	-1,56
2/8/93	-8,37	-4,88	-8,09	-18,64	4,20	-5,38	-4,97
16/8/93	5,86	5,36	11,02	8,80	-1,68	3,46	9,12
30/8/93	-	3,04	-4,67	-2,89	-12,70	-1,59	14,01
13/9/93	-9,04	-6,95	-19,33	-2,21	-17,25	-6,98	-7,80
27/9/93	-5,91	7,11	-5,00	4,26	-7,27	-5,55	8,63
11/10/93	-12,70	-1,41	-4,35	-5,59	-7,45	-3,62	-1,76
25/10/93	-8,22	-5,45	-6,66	-12,68	-19,38	-11,60	-4,56
8/11/93	-2,42	9,74	-4,40	14,20	1,95	5,20	9,24
22/11/93	-13,40	0,48	***71,64***	0,47	-19,55	-2,75	1,07
13/12/93	-16,15	-14,61	-14,46	-9,39	-5,34	-7,86	-9,01
3/1/94	-11,91	3,67	-4,54	0,17	-4,64	***-41,51***	3,42
17/1/94	***-26,62***	5,46	4,70	-4,71	-13,23	***-50,44***	-3,62
31/1/94	-0,18	-5,12	-2,77	-5,98	-7,92	-6,65	0,88
14/2/94	-4,27	0,79	-10,26	-8,27	-6,30	-16,60	-6,21
28/2/94	2,35	0,48	-2,51	0,52	2,30	-5,85	7,19
14/3/94	-6,03	-	-5,85	-5,49	-2,26	-6,54	-9,42
5/4/94	-11,56	2,01	-7,77	-9,23	-4,24	-10,41	-3,37
18/4/94	-7,02	-8,67	-13,98	-14,42	-14,45	-10,87	-15,66
2/5/94	-7,59	-3,32	-5,99	-2,52	-3,71	-8,24	-8,62
16/5/94	-8,67	-9,61	-4,36	-2,12	-11,75	-5,45	-9,10
6/6/94	-3,82	0,36	-4,28	-2,07	***40,80***	-0,17	-2,62
27/6/94	-6,97	0,43	-4,05	-0,04	***31,60***	4,96	3,41
11/7/94	-15,33	-8,79	-12,47	2,81	***-66,25***	-11,45	-13,17
1/8/94	-2,77	-4,53	-9,40	-7,60	-9,76	-10,54	-7,35
22/8/94	-	***-21,31***	***-22,74***	-10,23	-19,12	-12,05	-15,26
13/9/94	1,95	4,59	4,71	-	2,03	11,36	9,86
3/10/94	-0,11	-3,44	-4,95	-2,23	-6,90	3,66	-9,60
25/10/94	5,23	-1,41	3,06	10,18	4,98	6,08	-0,16
14/11/94	2,65	0,10	-6,49	7,37	-11,03	0,25	-
13/12/94	-	-2,21	3,66	-5,63	-16,76	0,13	3,25
26/12/94	-15,79	-17,68	-11,41	***-22,43***	***-26,11***	***-20,82***	-14,09

Tabla 6.4. Errores (%) de los análisis efectuados (en cursiva y negrita, los análisis eliminados, error >20%).

Aplicando este criterio, se han desechado en 12 análisis todas las determinaciones de aniones y cationes. Estos análisis suponen, en porcentaje, el 5,3% de los análisis completos existentes, que eran 226. Por vertederos, los análisis afectados son:

Lapatx:	1 de 33	(17-1-94)
San Marcos:	1 de 33	(22-8-94)
Petritegi:	2 de 33	(22-11-93; 22-8-94)
Ventas:	1 de 32	(26-12-94)
Urteta:	4 de 33	(6-6-94; 27-6-94; 11-7-94; 26-12-94)
Sasieta:	3 de 33	(3-1-94; 17-1-94; 26-12-94)
San Blas:	0 de 32	

Llama la atención el hecho de que los análisis correspondientes a 3 fechas de muestreo (17-1-94, 22-8-94 y 26-12-94) se han visto afectados por este criterio de eliminación en varios vertederos (en 2 en el caso de las dos primeras fechas y en 3 en la última), lo que puede ser un indicio de que quizás algún aparato pudiera estar mal calibrado en esos días o que se produjo alguna incidencia anómala durante el proceso de análisis.

6.3.2.2. UMBRALES DE ANOMALÍAS

Stanley & Sinclair (1989) clasifican las técnicas de selección del umbral de anomalía en 3 categorías:

- Técnicas de libre criterio. Tras la evaluación visual de los datos a partir de la observación de histogramas y gráficos similares, se asigna el umbral de anomalía según el criterio subjetivo del investigador. Por lo tanto, la elección en estos casos dependerá sobremanera de la experiencia del mismo. Con este tipo de técnicas, los valores de corte obtenidos no son fácilmente utilizables por otros autores.

- Métodos basados en modelos aplicados con subjetividad: aplican modelos matemáticos o estadísticos al conjunto muestral, por comparación con una distribución generalmente normal. Entre estos cabe citar el frecuentemente utilizado de la media ± 2 o 3 veces la desviación estándar ($x \pm 2\sigma$ ó 3σ).

- Métodos objetivos basados en modelos estadísticos. El umbral se estima en función de los propios datos, y no de acuerdo con una decisión arbitraria del investigador. Como norma general, las poblaciones de fondo se aproximan a funciones de tipo normal o lognormal, asumiendo que las poblaciones anómalas se alejan en varios grados dependiendo de la variable, ambiente de estudio, etc. Entre estos métodos cabe citar la utilización de diagramas de probabilidad.

Hay que hacer notar que incluso este último tipo de técnicas llevan implícita una cierta componente de subjetividad, ya que en sí mismo la elección de un modelo de distribución teórica es una decisión subjetiva. Aún con esto, el resultado de pasar de los métodos descritos en primer lugar a los descritos en último lugar es el de minimizar esta componente de subjetividad.

En este trabajo se han utilizado los umbrales de anomalía tal y como los calcula Yusta (1993). Este autor parte de los parámetros estadísticos o estadígrafos:

- Mediana (Q_2).
- Rango intercuartílico (IQR),
  siendo IQR = Q_3-Q_1, donde Q_3 y Q_1 son el tercer y primer cuartil respectivamente.

La mediana (Q_2), estadígrafo que mide la tendencia central de la distribución, es un valor muy resistente ya que se calcula con el 50% de los valores de distribución. Q_2 y IQR constituyen medidas robustas de la tendencia central y de la dispersión de los datos. La expresión de las características de una población mediante estos valores es preferible a otro tipo de estadísticas resumen que incluyen el valor de la media y de la desviación estándar, ya que éstas aparecen severamente afectadas por la presencia de puntos singulares en la muestra (Yusta, 1993).

Los umbrales de anomalía de primera especie vienen definidos por los valores L_1^+ y L_1^-. Los valores de la variable superiores a L_1^+ o inferiores a L_1^- se denominan anomalías de primera especie:

$$L_1^+ = Q_3 + 1{,}5 \cdot IQR$$
$$L_1^- = Q_1 - 1{,}5 \cdot IQR$$

Así mismo, pueden calcularse los umbrales de anomalía de segunda especie, L_2^+ y L_2^-. Los valores de la variable superiores a L_2^+ o inferiores a L_2^- se denominan anomalías de segunda especie:

$$L_2^+ = Q_3 + 3 \cdot IQR$$
$$L_2^- = Q_1 - 3 \cdot IQR$$

Normalmente se trabaja con anomalías positivas. Además, las distribuciones de bastantes elementos minoritarios se muestran truncadas siempre hacia los valores bajos (límite de detección). Por estas razones, en la práctica carece de sentido trabajar con anomalías negativas.

En el caso que nos ocupa se han utilizado exclusivamente las anomalías de segunda especie, de forma que sólo se han eliminado los valores más anómalos. Incluso, en ocasiones, con algunas variables que contaban con pocas determinaciones, se han considerado los diferentes valores de L_2^+ en vertederos similares para decidir la eliminación de los valores superiores a los umbrales. Los valores de L_2^+ para las variables analizadas en los lixiviados de los vertederos estudiados se muestran en la Tabla 6.5.

	pH	Conduct. (µS/cm)	Turbidez (UNF)	S.S. (mg/l)	Cl^- (mg/l)	NH_4^+ (mg NH_4^+/l)	NTK (mg N/l)	PO_4^{3-} (mg/l)	DQO (mg O_2/l)	DBO_5 (mg O_2/l)	CN (mg/l)	Hg (ug/l)	C.a.e. (m^{-1})	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
LAPATX	9,2	4.240	215	148	400	399	293	0,81	2.249	324	-	0,5	174	4,9	44,3	6,31
S. MARCOS	10	1.464	268	501	2.940	1.239	994	4,64	4.355	1.985	-	0,5	1.097	6,98	66,3	9,25
PETRITEGI	8,6	19.497	123	662	2.243	1.597	1.050	21,96	7.828	1.110	0,53	0,5	1.318	10,88	51,2	5,68
VENTAS	9,1	20.360	51	110	4.962	1.742	1.502	9,63	7.138	414,5	0,91	85,2	1.699	4,62	13,1	11,54
URTETA	8,7	9.231	184	680	2.045	697	413	0,82	2.526	677	-	18	258	4,43	57,2	9,82
SASIETA	9,6	16.680	199	195	3.174	1.571	1.147	1,52	1.957	378	-	35	869	2	54,6	7,85
SAN BLAS	8,7	9.597	90	540	1.214	1.031	982	7,21	2.364	390	-	-	1.482	6,73	50,8	4,24
GONGORA	8,5	19.400	-	1.060	-	-	1.116	-	21.817	11.122	-	-	-	5,2	230	6,8

	Zn (mg/l)	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	CO_3H^- (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Fenoles (mg/l)	TOC (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	P (mg/l)
LAPATX	0,52	0,09	0,04	0,29	0,05	0,28	38,2	80,4	2.400	287	203	185,1	78	0,11	125	3,67	5,3
S. MARCOS	0,8	0,28	0,1	0,4	0,05	0,38	17,1	184,4	5.987	1.829	485	400,7	89,8	1,99	1.164	0,86	3,7
PETRITEGI	1,42	0,49	0,78	0,69	0,05	0,18	251,3	923,6	5.885	1.284	666	305,6	295	0,17	415	6,5	8,63
VENTAS	0,51	0,46	0,1	0,5	0,05	0,3	142	284,6	5.865	1.844	656	300,7	88,3	-	527	4,71	28,78
URTETA	2,01	0,21	0,1	0,37	0,05	0,26	243,2	170,6	3.107	785	257	369	99,5	0,05	241	11,83	5,83
SASIETA	0,71	0,36	0,07	0,45	0,05	0,18	33	128	6.855	1.469	518	315,1	201	0,19	485	2,53	-
SAN BLAS	0,79	0,66	0,12	0,58	0,1	0,28	15,7	923	5.650	1.005	760	425	99,6	2,44	1.011	1,08	-
GONGORA	14,9	0,3	0	0,5	0	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	6.405	-	-

Tabla 6.5. Umbrales de anomalía L_2^+ para las variables analizadas.

Este método se ha considerado conjuntamente con el método gráfico que se comenta en el apartado siguiente. En la mayoría de los casos los valores superiores al umbral de una variable cualquiera dan lugar, en la gráfica de evolución de esa variable, a picos totalmente anómalos, sin relación con el resto de los valores y también sin posibilidad de relación con aumentos de otras variables en principio relacionados con ella. En otras ocasiones, ha permitido preservar algunos valores superiores al umbral al verse que éstos estaban en concordancia con los correspondientes a los de otras variables relacionadas que no sobrepasaban sus respectivos umbrales.

	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH_4^+	NTK	PO_4^{3-}	DQO	DBO_5	Hg	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	NO_3^-	SO_4^{2-}	CO_3H^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	P	*Subtotales*
LAPATX	-	1	1	1	4	2	1	-	1	2	2	-	-	2	-	-	-	2	1	-	1	-	1	-	22
S. MARCOS	-	1	-	2	-	-	-	-	1	1	2	1	2	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	13
PETRITEGI	-	1	2	6	9	1	-	-	-	1	1	-	1	5	-	2	-	-	-	-	1	1	1	-	32
VENTAS	-	1	-	1	2	1	-	1	-	-	2	-	1	-	-	1	-	1	2	-	-	-	1	-	14
URTETA	-	2	-	1	-	1	-	-	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	1	1	-	13
SASIETA	-	1	-	1	2	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	1	2	-	12
SAN BLAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2
GONGORA	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	5
Subtotales	1	7	3	12	18	5	1	1	4	5	7	1	9	8	1	5	3	3	5	0	2	3	8	1	113

Tabla 6.6. Determinaciones eliminadas aplicando conjuntamente el método de umbrales y el método gráfico.

El número de determinaciones eliminadas del conjunto de resultados tras aplicar

conjuntamente ambos criterios ha sido de 113, distribuidas de la forma que se muestra en la Tabla 6.6. También se incluyen algunas determinaciones muy poco precisas del tipo "mayor que" y algún valor mínimo que aunque estaba por encima del umbral L_2^-, daba lugar a fuertes descensos anómalos en las gráficas previas realizadas.

En los casos en los que en un mismo análisis aparecen un número apreciable de determinaciones que sobrepasan sus umbrales (más de 3 o 4, por ejemplo), y tras comprobar que el momento del muestreo no se corresponde con situaciones anormales (grandes caudales, fuertes estiajes) que puedan explicar esas concentraciones, como norma general, se ha procedido a eliminar todo el análisis. En total, el número de análisis eliminados ha sido de 6, sobre un total de 655, lo que supone el 0,91%, distribuidos de la forma:

Lapatx:	1 de 101
San Marcos:	2 de 162
Petritegi:	1 de 97
Ventas:	1 de 99
Urteta:	0 de 91
Sasieta:	0 de 67
San Blas:	1 de 38

6.3.2.3. MÉTODOS GRÁFICOS

Como ya se ha comentado, este método se ha aplicado conjuntamente al método anterior (113 determinaciones eliminadas). Ha permitido decidir sobre la conveniencia o no de eliminar algunos valores que sobrepasaban los umbrales seleccionados así como poner en evidencia algunos valores que, aunque situados dentro del rango considerado como válido, eran claramente anómalos.

Ejemplos de la utilidad de este método se muestran en la Figura 6.1. En la primera de las gráficas, correspondiente a la evolución de varios parámetros en los lixiviados del vertedero de Lapatx, se pone de manifiesto las claras anomalías que suponen 3 determinaciones de Cl^-, PO_4^{3-} y S.S., sin ninguna relación con el resto de determinaciones ni con las evoluciones del resto de variables (no mostradas en la figura).

En la segunda de las gráficas, en la que se representa la evolución comparada del pH en los lixiviados de los 7 vertederos de Gipuzkoa estudiados, se puede apreciar cómo las determinaciones correspondientes al muestreo del día 10-4-91 son, para todas las muestras analizadas, anormalmente bajas (excepto en un caso, esos valores son los más bajos de sus series correspondientes). Estos valores se han considerado como erróneos, posiblemente obtenidos con un pHímetro mal calibrado.

6.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

6.4.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la variabilidad espacial y temporal de las propiedades físico-químicas de unas aguas concretas, contaminadas o no, puede abordarse mediante diferentes métodos, entre los que se pueden diferenciar:

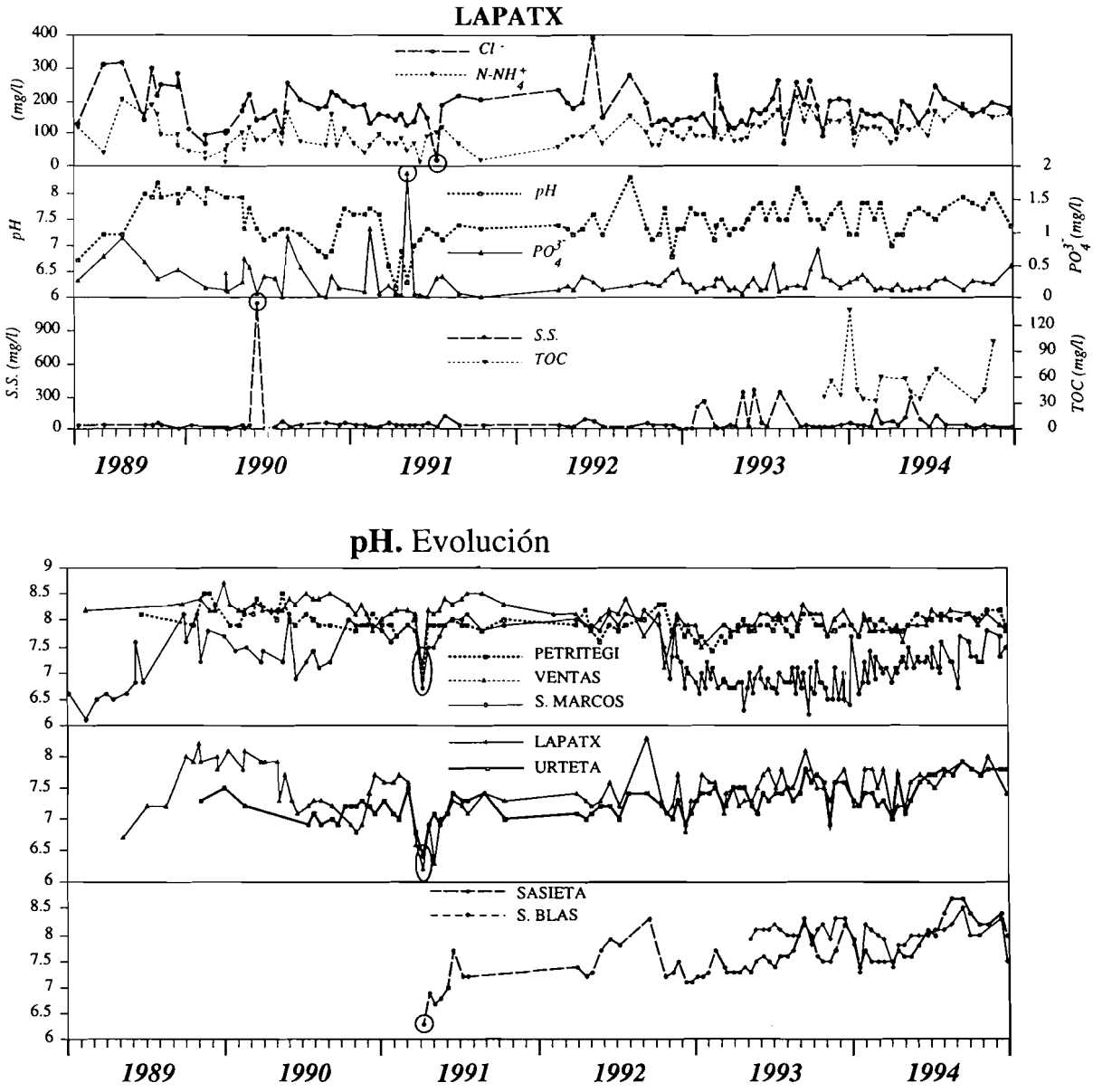


Figura 6.1. Eliminación de valores anómalos mediante métodos gráficos.

I. métodos de análisis estadístico univariable

Su finalidad es analizar las características de las variables consideradas, determinar el modelo de distribución que siguen dichas variables, y calcular el intervalo de confianza y los parámetros que nos permitan definir el fondo y el umbral de anomalía de estas variables en el conjunto de datos considerados.

II. Métodos de análisis estadístico multivariable

Los métodos de análisis multivariable o multidimensional tienen por objeto distinguir grupos de individuos, caracterizar una variable mediante otras y verificar la relativa homogeneidad de las agrupaciones. Permiten caracterizar estadísticamente los sitios de medida y constituyen una aproximación indirecta a la variabilidad espacial, pues ponen mayor énfasis en los puntos de medida que en las variables de medida. Las técnicas de análisis multidimensional se pueden clasificar del siguiente modo (Bisquerra, 1989):

A. Técnicas de análisis factorial

1. Sin partición previa de los conjuntos de observaciones y de variables:

- Análisis factorial de factores comunes y específicos
- Análisis de componentes principales
- Análisis factorial de correspondencias

El objetivo común de todas ellas es encontrar nuevas variables (factores), en menor número que las variables iniciales y que sean combinaciones lineales de las mismas, que permitan analizar la estructura del conjunto de datos, poniendo en evidencia las relaciones entre variables, las relaciones entre las observaciones, y las relaciones entre las observaciones y las variables.

2. Con una partición previa del conjunto de observaciones.

Son las técnicas del análisis discriminante, que pueden utilizarse con finalidad descriptiva o de decisión. Cuando se trata de efectuar una descripción, estas técnicas permiten apreciar la dispersión de los individuos de cada grupo y eventualmente las observaciones que, habiéndose clasificado previamente en un grupo, aparecen en otro. Cuando el objetivo es decisional, permiten clasificar nuevas observaciones y hacer rectificaciones. Para la comparación de varios grupos (muestras) y la verificación de la significación de su diferencia se utiliza el análisis de la varianza.

3. Con una partición previa del conjunto de variables en 2 subconjuntos.

La técnica que tiene como finalidad el análisis de dichos conjuntos de datos es el análisis canónico.

B. Técnicas de clasificación

Son aquellas que tienen por objeto proporcionar una o varias particiones del conjunto de observaciones o del conjunto de variables. Entre éstas se encuentran: medidas de proximidad, técnicas de clasificación Jerárquica y técnicas optimizantes.

III. Métodos de correlación.

Permiten caracterizar estadísticamente numerosas propiedades a partir del estudio de unas pocas. En el caso del estudio de la variabilidad de las propiedades físico-químicas de los lixiviados, tiene la aplicación fundamental de permitir buscar correlaciones entre variables difíciles y costosas de medir mediante otras de determinación más corriente. Las técnicas que suelen utilizarse en este apartado son el cálculo de los coeficientes de correlación y autocorrelación, y el análisis espectral.

6.4.2. ANÁLISIS UNIVARIANTE

El análisis univariante es básico en cualquier estudio hidroquímico. En ocasiones, un análisis detallado y exhaustivo de las distintas variables permite prever muchos de los resultados determinados con métodos mucho más sofisticados de análisis multivariantes.

La descripción de una variable se realiza normalmente a partir de las siguientes características:

- Forma de la distribución.
- Valor central o promedio.
- Dispersión.
- Asimetría.

Para estudiar la forma de la distribución de una variable se necesita disponer de un número de observaciones lo suficientemente grande como para poder deducir la regularidad o forma general del comportamiento de dichas observaciones. La forma de las distribuciones se aprecia mejor mediante su representación gráfica (histogramas de frecuencia). Su simple visión nos permite deducir el grado de concentración de la variable y concluir sobre qué rango de valores se produce, aunque para evitar la subjetividad de esta apreciación es común aplicar algún test estadístico que confirme las hipótesis realizadas.

En este caso, se ha aplicado el test de Kolmogorov-Smirnoff con vistas a comprobar numéricamente si la distribución de las variables (parámetros analizados) puede ser considerada como normal o lognormal. La normalidad o no de las variables se hace constar en la última columna de las tablas confeccionadas para cada vertedero, en las que se resumen los principales valores estadísticos de las variables analizadas en cada caso (apartados 6.5.2 a 6.5.9), y los resultados del test de Kolmogorov-Smirnoff para las hipótesis de normalidad y lognormalidad en las tablas del apartado 6.5.10.1.

Los valores centrales, de dispersión y de simetría correspondientes a cada variable analizada también se presentan separadamente para cada vertedero en las tablas mencionadas anteriormente y de forma comparativa variable a variable en las distintas tablas del apartado 6.6.

Los valores centrales o promedios son valores singulares que representan a todos los valores observados de la variable. Su representatividad es mayor o menor según dichos valores estén más o menos concentrados con respecto al promedio. En este trabajo se han considerado los 2 promedios más usuales: la media aritmética (media) y la mediana.

La media aritmética (media) depende de todas las observaciones realizadas. Por tanto, la presencia de un valor observado anormalmente grande o anormalmente pequeño influye sensiblemente en el valor del promedio, lo cual, evidentemente, es un inconveniente. Frente a este inconveniente tiene la ventaja de utilizar toda la información recogida. La mediana, por contra, no utiliza toda la información (inconveniente), pero, por ello, no se ve afectada por los valores anormalmente altos o bajos, y puede calcularse en el caso de que existan observaciones del tipo "menor que" o "mayor que" (ventaja).

Si la distribución de la variable es simétrica o moderadamente asimétrica, los 2 promedios son representativos, aunque es más propio usar la media dadas sus propiedades algebraicas y de estabilidad en el muestreo. En caso de distribuciones fuertemente asimétricas la mediana es el promedio más apto. En consecuencia, el tipo de distribución es importante para la selección del promedio más adecuado.

Como se ha comentado, la representatividad de un valor promedio es mayor o menor según que los valores de la variable estén más o menos concentrados con respecto a él. Si los valores están muy dispersos con relación al promedio, éste es poco representativo. Por ello, el significado de un promedio gana mucho si viene acompañado de una medida de la dispersión de las observaciones en torno a él.

En este estudio se han considerado las siguientes medidas de dispersión: desviación estándar, coeficiente de variación, recorrido o rango y el rango intercuartílico.

La desviación estándar mide la dispersión de los valores observados de la variable con respecto a la media y es, sin duda, la medida de dispersión más utilizada.

El coeficiente de variación se utiliza para comparar la dispersión de 2 o más distribuciones. Esta comparación también puede realizarse utilizando la desviación estándar si las variables comparadas tienen sus medias iguales o aproximadamente iguales y si dichas variables vienen expresadas en la misma unidad, pero esto no suele ser lo habitual. El coeficiente de variación no es otra cosa que la desviación estándar expresada como porcentaje de la media. Por tanto, no se expresa en la unidad de la variable, sino en %.

El recorrido o rango (diferencia entre el mayor valor de la variable y el menor) tiene la ventaja de la sencillez y rapidez de su cálculo. En cambio, tiene el inconveniente de que sólo depende de los 2 valores extremos; por tanto, basta con que estos 2 valores estén anormalmente alejados para que se tenga una impresión falsa de dispersión. En ocasiones, también se utiliza el rango intercuartílico ($IQR = Q_3-Q_1$) a modo de rango en el que se ha prescindido de los valores extremos. El IQR es útil cuando se tienen valores anormalmente altos o bajos y cuando se tienen determinaciones del tipo "menor que" o "mayor que".

Como medida de la asimetría de la distribución y de su grado de apuntamiento se han utilizado respectivamente los coeficientes de asimetría (skewnes) y de apuntamiento (kurtosis) que nos permiten efectuar comparaciones entre distribuciones distintas. Estas medidas son de uso más limitado al no tener tanto valor práctico como los promedios y las medidas de dispersión, y al verse afectadas por la existencia de valores extremos.

6.4.2.1. TRATAMIENTO DE LOS DATOS DEL TIPO "MENOR QUE"

En algunas de las variables analizadas es común obtener como resultados concentraciones situadas por debajo del límite de detección del aparato de medida utilizado para su determinación. Estos casos generan diversos problemas a la hora de interpretar las series de datos existentes. Así por ejemplo, en el caso de vertidos a cauces públicos o a colectores en los que se adopta como criterio la comparación de la concentración media de algunas variables a lo largo de un periodo de tiempo con respecto a un estándar establecido por ley, no pueden calcularse los valores medios de las variables en cuestión por la presencia de los casos "menores que".

Es necesario, por tanto, aplicar algún criterio que nos permita extraer la información necesaria evitando la eliminación de esas observaciones.

En el presente trabajo se ha elegido, previamente a la realización del tratamiento estadístico de los datos disponibles, el criterio de la sustitución de los límites de detección por

sus valores mitad. Este criterio, el más ampliamente utilizado, está, sin embargo, siendo puesto en duda últimamente (Helsel, 1990). Este autor considera que estos criterios de sustitución de los límites de detección introducen mayores errores que los debidos a otros criterios basados en algunos tests estadísticos paramétricos y no paramétricos. Así, por ejemplo, recomienda aplicar métodos estadísticos distribucionales (se asume que las variables siguen ciertos tipos de distribución) y robustos (estimación de la máxima probabilidad, gráficos de probabilidad) para calcular la media, mediana, IQR y la desviación estándar de las variables.

En este trabajo no se han tenido en cuenta estos criterios avanzados por estar definidos para casos en los que la calidad de la información de partida es muy elevada o en el que las variables afectadas son susceptibles de ocasionar importantes perjuicios, y por tanto, interesa llegar al detalle a la hora de caracterizarlas.

En nuestro caso cabe decir que la calidad de la información disponible (análisis efectuados en laboratorios totalmente contrastados) es alta, pero no hasta el punto de precisar tratamientos tan específicos. El hecho de intervenir diferentes personas en el proceso de muestreo, conservación y análisis de las muestras analizadas, algunos cambios en las técnicas analíticas empleadas a lo largo del periodo considerado en la determinación de ciertos parámetros (metales, por ejemplo), y la existencia de datos procedentes de varios laboratorios, introducen un grado de incertidumbre que, aunque totalmente asumible, deja sin sentido práctico la aplicación de técnicas como las descritas por Helsel.

6.4.3. MÉTODOS DE CORRELACIÓN

Como método de correlación se ha considerado el cálculo de los coeficientes de correlación lineal de Pearson. Se ha utilizado para ello el programa estadístico SPSSx v.6.2.1 para Windows, que además de proporcionar dichos coeficientes, también proporciona el número de casos considerado para el cálculo de cada valor así como su nivel de significancia estadística.

6.4.4. ANÁLISIS MULTIVARIANTE

Entre los diferentes métodos de análisis multivariante existentes se han utilizado en este estudio los dos que han venido dando mejores resultados en lo que se refiere a la caracterización físico-química de efluentes. Estos métodos son:

- Técnicas de clasificación jerárquica (análisis Clusters)
- Análisis factorial (Análisis por Componentes Principales)

6.4.4.1. TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA (ANÁLISIS CLUSTERS)

Los análisis cluster (o de enjambres o racimos) constituyen una herramienta de descripción de datos cuantitativos y cualitativos que surgió de la mano de los biólogos con fines taxonómicos a principios de la década de los setenta. En el dominio del tratamiento de las características físico-químicas de las aguas se viene utilizando desde hace más de una década (Ibáñez & Sanchís, 1983; Moral *et al.*, 1984).

Estos análisis permiten conocer el grado de relación entre los parámetros observados

(variables analizadas) en muchos individuos (muestras), o agrupar las muestras por la similitud de las variables que las caracterizan. Lo que hacen, en esencia, es establecer grupos y clasificar los datos disponibles a partir de la matriz inicial de distancias. La ventaja de este procedimiento sobre otros más sofisticados, como el análisis factorial, es su simplicidad matemática, que implica pocas hipótesis sobre los datos iniciales, lo que hace que dé buenos resultados en la mayoría de las ocasiones.

En este trabajo se ha aplicado sólo un tipo de análisis Cluster: Cluster de variables en la modalidad de Cluster jerárquico. No se han realizado Cluster de casos al comprobarse que no aportaban información adicional. La idea fundamental de los Cluster jerárquicos es que un grupo en el nivel i de clasificación es parte de un grupo más amplio del nivel (i+1), formándose en el nivel superior último un grupo único que engloba el conjunto de todas las unidades de partida.

El problema del cluster de variables consiste en determinar n clases de variables, de tal forma que cada variable pertenezca a una y sólo una de estas clases, en base a una medida de similitud (distancia) entre los puntos que representaban cada variable, medida que varía de un caso a otro según sea la naturaleza del problema (Moral *et al.*, 1984). Información exhaustiva sobre análisis cluster y los diferentes tipos de distancias pueden encontrarse en Davis (1983).

Para su realización se ha empleado el programa estadístico SPSSx v.6.2.1 para Windows. Como método de agrupamiento o conglomeración se ha considerado en todas las ocasiones el de vinculación intergrupos, y como medida de distancia se ha utilizado el coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados se presentan de forma gráfica (dendogramas) para cada vertedero por separado y considerando conjuntamente la información de todos los vertederos de Gipuzkoa.

6.4.4.2. ANÁLISIS FACTORIAL (ANÁLISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES)

Dentro de los diferentes tipos de análisis factorial se ha empleado el denominado Análisis por Componentes Principales (ACP), tipos R y Q, de uso relativamente frecuente en hidrogeología y en ciencias medioambientales y cuyo empleo en el tratamiento de análisis químicos ha proporcionado resultados satisfactorios en numerosas ocasiones (Benavente *et al.*, 1983; González *et al.*, 1988; Navarro, 1989; Font & Navarro, 1991).

El objetivo de los ACP tipo R es extraer la máxima información posible de los datos disponibles mediante la transformación de relaciones complejas entre una serie de variables interdependientes (las registradas sobre el conjunto muestral) en relaciones más sencillas entre un número sensiblemente más reducido de variables, éstas independientes, sin que esa transformación suponga pérdida significativa de información. Las nuevas variables, "factores", están relacionadas con las variables originales y explican la mayor parte de la varianza de éstas.

Los ACP tipo Q, por su parte, se basan en el proceso inverso. En este caso, se trata de buscar los factores en el espacio de los individuos. Aquí lo que interesa son las relaciones entre los individuos y no entre las variables (Bisquerra, 1989).

La condensación de la información en un número reducido de "factores" (los "factores" corresponden a las direcciones de alargamiento de la nube) posibilita una representación

gráfica simplificada, ya que expresa la proyección de la nube de los puntos multidimensionales en el plano bidimensional engendrado por 2 ejes factoriales, y permite una mejor interpretación de los datos originales.

Se ha utilizado el método de rotación ortogonal de tipo varimax por ajustarse mejor a este tipo de tratamientos. Por otra parte, al tratarse de ACP centrado y reducido el análisis se efectúa a partir de la matriz de correlación entre las variables, la cual, por sí misma, puede poner de manifiesto las asociaciones existentes a partir de los coeficientes de correlación considerados como significativos.

Previamente a la realización de los ACP se ha procedido a normalizar las variables que inicialmente no presentaban distribuciones normales, al objeto de cumplir el requisito exigido por esta técnica estadística. Para ello se ha utilizado la transformación de Box-Cow, disponible en el programa estadístico Data Desk® v.5.0 para Macintosh.

6.5. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS ESTUDIADOS. POR VERTEDEROS

6.5.1. MÉTODOS EMPLEADOS

En los 8 apartados siguientes se estudia en detalle las características físico-químicas de los lixiviados generados en cada uno de los vertederos estudiados.

Tras hacer referencia a la procedencia de la información y a la cantidad y calidad de la misma, en cada apartado se presenta una tabla en la que se indican los principales valores estadísticos para los parámetros analizados en cada caso. Estos valores son: N (número de determinaciones efectuadas); n (%), número de determinaciones por debajo del límite de determinación y porcentaje que suponen; media; mediana; desviación estándar (Std.Devs); coeficiente de variación (V); rango; rango intercuartílico (IQR); mínimo (Mín.); primer cuartil (Q_1); tercer cuartil (Q_3) y máximo (Máx.). Información general sobre estos parámetros se cita en el apartado 6.4.2.

Al objeto de dar una idea del grado de contaminación de los lixiviados, en la anteúltima columna (*Ref.1*)se proporcionan las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos según la legislación española (R.D. 849/1986). Por último, se indica también en la última columna aquellas variables que presentan una distribución normal o lognormal (cuando la variable en cuestión no se ajusta a ninguna de estas 2 distribuciones la casilla correspondiente aparece vacía).

A la hora de confeccionar estas tablas se ha tenido en cuenta una serie de criterios con vistas a resaltar los resultados realmente interesantes:

- Se ha procedido a redondear los resultados en función del número de cifras significativas de los datos de partida. Por ejemplo, los valores estadísticos correspondientes al parámetro NTK se dan sin decimales o a lo sumo con uno, dado que no tendría mucho sentido decir que su valor medio es, pongamos el caso, de 134,89 mg/l cuando ningún dato de partida consta de más de 3 cifras. Por ello, se redondearía el resultado al valor de 135 mg/l.

- Cuando hay valores por debajo del límite de detección o más del 25% de las

determinaciones están por debajo de ese límite, no se citan los valores del rango, de Q_1 y del rango intercuartílico (IQR) dado que no tendría un significado real (en las casillas aparece un guión). De igual forma, tampoco se considera el valor de la mediana si más del 50% de las determinaciones están por debajo del límite de detección.

- En los casos en que la mayoría de las determinaciones de un parámetro estén por debajo del límite de detección (>75%), únicamente se citan dichos límites y los valores máximos, al carecer de interés el resto de valores estadísticos (no tendría sentido, por ejemplo, calcular la media de un parámetro que en más de un 90% de las ocasiones se encuentra por debajo de su límite de detección).

Los valores centrales (medias y medianas) y máximos que aparecen en estas tablas se comparan sucesivamente con las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos, anteúltima columna, y con los reglamentos de vertido a colectores del Gran Bilbao y de Vitoria-Gasteiz (Tabla 6.36; apartado 6.5.11), con vistas a tener una referencia del grado de calidad de los lixiviados y conocer los parámetros que van a condicionar en última instancia la gestión y tratamiento de los mismos.

También en base a los valores centrales calculados se clasifican los aniones, cationes y metales en orden decreciente. Se obtiene de esta forma, para cada vertedero, 3 secuencias que posteriormente podrán ser comparadas con las del resto de vertederos. En estas clasificaciones o secuencias se han utilizado los siguientes símbolos:

> Los valores centrales del parámetro de la izquierda son mayores que los del de la derecha pero sin llegar a duplicarlo.

>> Los valores centrales del parámetro de la izquierda son entre 2 y 4 veces mayores que los del de la derecha.

>>> Los valores centrales del parámetro de la izquierda al menos cuadriplican a los del de la derecha.

= Los valores centrales del parámetro de la izquierda son muy similares a los del de la derecha.

Se presentan también para cada vertedero 3 gráficas (2 en el caso del vertedero de Góngora) en las que se representa la evolución temporal comparada de diversos parámetros físico-químicos frecuentemente analizados en los lixiviados. En los casos de los vertederos de Lapatx y Góngora se representa en la parte superior de las gráficas las precipitaciones registradas en las cercanías de los vertederos conjuntamente con la evolución de los caudales registrados. En el resto de vertederos, únicamente se representan las precipitaciones diarias, al no contarse con datos de caudales de lixiviados.

Como norma general, en la primera de ellas se muestran la conductividad y los elementos mayoritarios CO_3H^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} y NO_3^- (éste sólo en algunas ocasiones) durante el periodo comprendido entre Julio de 1993 y Diciembre de 1994, del que se dispone de análisis completos. En la segunda, se han representado parámetros relacionados con la degradación de la materia orgánica (DQO, TOC, N-NH_4^+, PO_4^{3-}), conjuntamente con otros como pH, S.S., conductividad y Cl^-. Por último, en la tercera gráfica, se presenta la evolución de los metales más abundantes (Fe, Mn, Al, Zn, Cr, y en algunos casos, Cu y Ni). En las 2 últimas gráficas el periodo considerado es variable según

los vertederos (desde 6 años en el caso de San Marcos, 1989-1994, hasta año y medio en el caso de San Blas).

La realización de estas gráficas tiene como objeto reflejar las magnitudes y los rangos de variación de los principales parámetros y poner en evidencia, en caso de que existan, las tendencias en la evolución de los mismos (aumentos o descensos continuados a lo largo del tiempo, presencia de ciclos, etc.), las relaciones entre ellos, así como posibles influencias de los caudales y/o precipitaciones registradas previamente al muestreo (darían lugar a aumentos de caudal) sobre las concentraciones resultantes.

Como complemento a estas gráficas (en el sentido de que ponen de manifiesto la relación entre las distintas variables analizadas), se han calculado las matrices de correlación considerando los parámetros de mayor interés. No se han considerado Hg, CN y fenoles por presentar mayoritariamente determinaciones por debajo del límite de detección, ni aquellos parámetros que habían sido determinados en menos de 10 ocasiones (NO_2^-, Detergentes, Sulfuros, CO_3^{2-}, P, Cr^{6+}).

En estas tablas sólo se han representado los coeficientes de correlación lineal de Pearson superiores a 0,5 y con un nivel de significación superior al 99,9% ($p < 0,01$). En negrita se indican los coeficientes superiores a 0,6 y en cursiva el número de casos considerado para el cálculo de cada coeficiente. Estos números de casos son diferentes de unas parejas a otras debido a que se ha escogido la opción de utilizar la máxima información disponible, por lo que no se ha partido de tablas de datos completas (tablas constituidas por análisis completos, sin huecos). La elección de esta segunda opción habría ocasionado la no consideración de muchos análisis a los que les falta alguna o algunas determinaciones. Las matrices de correlación completas se presentan también en el Anexo 6.5.

Dentro ya de las técnicas multivariantes de tratamiento de datos, se han realizado los análisis Cluster de variables así como análisis por componentes principales (ACP), considerando únicamente las variables analizadas en mayor número de ocasiones. Así, se han considerado 12 variables únicamente (pH, conductividad, Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, S.S., turbidez, DQO, Fe, Mn, Al y Zn).

El resto de variables no se ha podido considerar ya que de hacerlo, disminuiría considerablemente el número de muestras tenidas en cuenta (se exige que las muestras consideradas sean completas, con datos para todas las variables), incumpliéndose por tanto uno de los requisitos de estos análisis, como es el de que el número de muestras consideradas sea bastante superior al de las variables.

Únicamente en el apartado 6.5.10.6, en el que se considera conjuntamente la información de los 7 vertederos de Gipuzkoa, se consideran más variables. Aparte de las 12 variables citadas, se consideran la temperatura, C.a.e., CO_3H^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} y NO_3^- (el número de muestras que disponen de datos para las 21 variables consideradas es de 93).

6.5.2. VERTEDERO DE LAPATX

En este vertedero se han tomado un total de 101 muestras. La primera de ellas, tomada el 25-4-88, no se ha considerado al tratarse de una muestra excesivamente aislada en el tiempo

(la siguiente se tomó el 9-5-89) y por ser la única muestra tomada en el año 1988. El resto de las muestras han sido tomadas desde esa segunda fecha hasta Diciembre de 1994 normalmente cada quince días. El año con menor número de muestras es 1989 con 9, siendo 1993 y 1990 los que cuentan con mayor número, con 24 y 20 respectivamente (Tabla 6.2).

En total se han considerado como válidas 2.064 determinaciones de las que 354 (el 17,1%) estaban por debajo del límite de detección. Todas las muestras, salvo 4 analizadas en los laboratorios LABEIN, han sido analizadas en los laboratorios de Fraisoro.

En la Tabla 6.7 se presenta el resumen estadístico de los parámetros analizados. Se dispone en total de información de 34 parámetros. El número de determinaciones varía ampliamente de unos a otros: 13 de ellos han sido analizados en más de 90 ocasiones, mientras que por el contrario, 4 de ellos (TOC, NO_2^-, P y fenoles) no pasan de 25 determinaciones.

	LAPATX	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	**Temp.**	31	-	16,4	16,5	1,45	8,8	5,8	2,2	14	15,3	17,5	19,8		normal
2	**pH**	99	-	7,47	7,50	0,37	4,9	2	0,6	6,3	7,2	7,8	8,3	5,5-9,5	normal
3	**Cond.**	99	-	2.089	2.060	501	24	2.646	600	974	1.780	2.380	3.620		normal
4	**Turbidez**	95	-	57,1	42	50,6	88,7	299,7	47	0,3	27	74	300		log
5	**S.S.**	93	2 (2,15)	53,6	34	71,8	134	-	30	< 5	18	48	358	80	log
6	**NH_4^+**	98	-	130	126	55,2	42,4	255,9	79,1	12,1	88,2	167,3	268	15	normal
7	**NTK**	55	-	135	135	36	26,7	184	46	28	112	158	212		normal
8	**DQO**	97	-	440	206	442	100	2.413	530	67	132,5	662,5	2.480	160	
9	**DBO_5**	54	-	94	27,5	178	189	-	70,5	< 2	10,8	81,3	920	40	log
10	**C.a.e.**	69	-	74,6	65	36,9	49,4	240,3	31,2	11,7	52,5	83,7	252		log
11	**TOC**	16	-	54,9	45	28,1	51,1	105	23,4	32	35,4	58,8	137		normal
12	**Fe**	97	-	13,9	7,48	22,5	162	134,6	9,77	0,4	4,58	14,4	135	2	log
13	**Mn**	100	-	2,39	1,81	1,60	67,1	10,35	1,23	0,35	1,48	2,71	10,7	2	
14	**Al**	82	4 (4,87)	1,1	0,6	1,26	115	-	1,2	< 0,2	0,3	1,5	8	1	log
15	**Zn**	99	15 (15,1)	0,13	0,08	0,17	127	-	0,12	< 0,02	0,04	0,16	1,14	3	log
16	**Pb**	36	23 (63,8)	0,19	-	0,37	196	-	-	< 0,02	-	0,095	1,54	0,2	
17	**Ni**	36	19 (52,7)	0,10	-	0,17	163	-	-	< 0,02	-	0,08	0,8	2	log
18	**Cr**	98	51 (52)	0,046	-	0,11	244	-	-	< 0,02	-	0,03	0,88	2	
19	**Cu**	35	23 (65,7)	0,029	-	0,04	137	-	-	< 0,02	-	0,03	0,24	0,2	
20	**Cd**	40	34 (85)	0,028	-	0,04	140	-	-	< 0,02	-	-	0,22	0,1	-
21	**Hg**	55	50 (90,9)	-	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	4,4	0,05	-
22	**Na^+**	33	-	142	140	42,3	29,7	169,4	43	75,6	115	158	245		normal
23	**K^+**	33	-	99,2	95,2	28,2	28,5	145,4	32,4	47,6	82,7	115	193		normal
24	**Ca^{2+}**	32	-	88,9	84,8	32,0	35,9	153,1	28,4	23,9	71,5	99,9	177		normal
25	**Mg^{2+}**	33	-	41,7	39,7	11,4	27,3	58	9,9	20	36,4	46,3	78		normal
26	**CO_3H^-**	28	-	1.295	1.280	253	19,5	1.062	330	778	1.125	1.455	1.840		normal
27	**Cl^-**	97	-	175	170	56,6	32,2	319,3	65,5	67,7	137,5	203	387	2.000	normal
28	**SO_4^{2-}**	53	1 (1,9)	35,2	32,1	18,2	51,6	-	13,8	< 10	26,1	39,9	122	2.000	
29	**NO_3^-**	52	15 (28,8)	6,25	3,6	6,79	109	-	-	< 0,4	-	10,45	27		log
30	**PO_4^{3-}**	91	3 (3,29)	0,24	0,19	0,20	81,4	-	0,17	< 0.03	0,13	0,3	1,06		log
31	**NO_2^-**	9	-	0,89	0,84	0,72	81,1	2,4	0,95	0,02	0,24	1,19	2,42		-
32	**CN**	91	91 (100)	-	-	-	-	-	-	< 0,03	-	-	< 0,03	0,5	-
33	**Fenoles**	24	23 (95,8)	-	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	0,11	0,5	-
34	**P**	4	-	1,1	1,1	0,69	63	1,2	1,2	0,5	0,5	1,7	1,7	10	-
	TOTAL	2.064	354 (17,1)												

Tabla 6.7. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Lapatx. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (µS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (µg/l).

12 parámetros siguen modelos de distribución normal, entre ellos la mayoría de los elementos mayoritarios (CO_3H^-, Cl^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} y NH_4^+) además de la temperatura, pH, conductividad, NTK y TOC. Otros 10 presentan modelos de distribución lognormal (los metales Fe, Al, Zn y Ni, así como la turbidez, S.S., DBO_5, C.a.e., NO_3^- y PO_4^{3-}). En cambio, las distribuciones de DQO, Mn, Pb, Cr, Cu y SO_4^{2-} no se ajustan a

ninguno de estos 2 modelos. Como norma general se aprecia una dispersión importante en los valores de la mayoría de los parámetros analizados, lo que da lugar a histogramas poco simétricos.

Las concentraciones de los parámetros son bastante altas en la mayoría de los casos. Comparando los valores centrales con las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos se observa que se sobrepasan ampliamente los límites permitidos en los parámetros NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe, Mn y Al (de estos 2 últimos sólo la media). Otros parámetros (S.S., Pb, Cu, Cd) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias. Por ello, no podrían verterse estos lixiviados de forma directa a ningún cauce público.

En cambio, sí podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca del Gran Bilbao, pero no a otras con límites menos permisivos, como los vigentes en Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+ y NTK exceden lo permitido y los valores de algunas determinaciones de Fe, Mn, Pb, Cd, Hg y NO_3^- también).

Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN y fenoles.

Dentro de los metales analizados, y en base a sus valores centrales, los más abundantes son Fe, Mn, Al y Pb por este orden. Los demás, se encuentran frecuentemente por debajo del límite de detección (>50% de las determinaciones en todos los casos) y sus valores medios están por debajo de 0,2 mg/l. Entre los cationes, el más abundante es el Na^+, y entre los aniones CO_3H^-.

Cationes: $Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} >> Mg^{2+}$
Aniones: $CO_3H^- >>> Cl^- >>> SO_4^{2-} >>> NO_3^- >>> NO_2^- >> PO_4^{3-}$
Metales: Fe >>> Mn > Al >>> Pb > Zn > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg

Evoluciones temporales

En las Figuras 6.2, 6.3 y 6.4 se presenta la evolución temporal de los principales parámetros analizados.

En la primera de ellas se muestran la conductividad y elementos mayoritarios. Con la información disponible, 18 meses, no puede deducirse ningún tipo de tendencia temporal en la evolución de estos parámetros. En general, los valores se mantiene dentro de un mismo rango a lo largo de todo el periodo estudiado. Sí se aprecia, sin embargo, una relación bastante clara entre las evoluciones de la conductividad y la de los elementos representados, salvo en el caso del SO_4^{2-}, que parece seguir una evolución inversa, del Ca^{2+}, que sigue una evolución totalmente independiente, y de NH_4^+ en algunos periodos. El paralelismo entre las evoluciones de la conductividad y CO_3H^- es el caso más evidente de esta relación.

Por otra parte, destaca las importantes concentraciones existentes de CO_3H^-, del orden de 10 veces más que de Cl^- y NH_4^+. En menores concentraciones se encuentran Na^+, K^+, Ca^{2+}, siendo el Mg^{2+} y SO_4^{2-} los menos abundantes con valores normalmente menores de 50 mg/l.

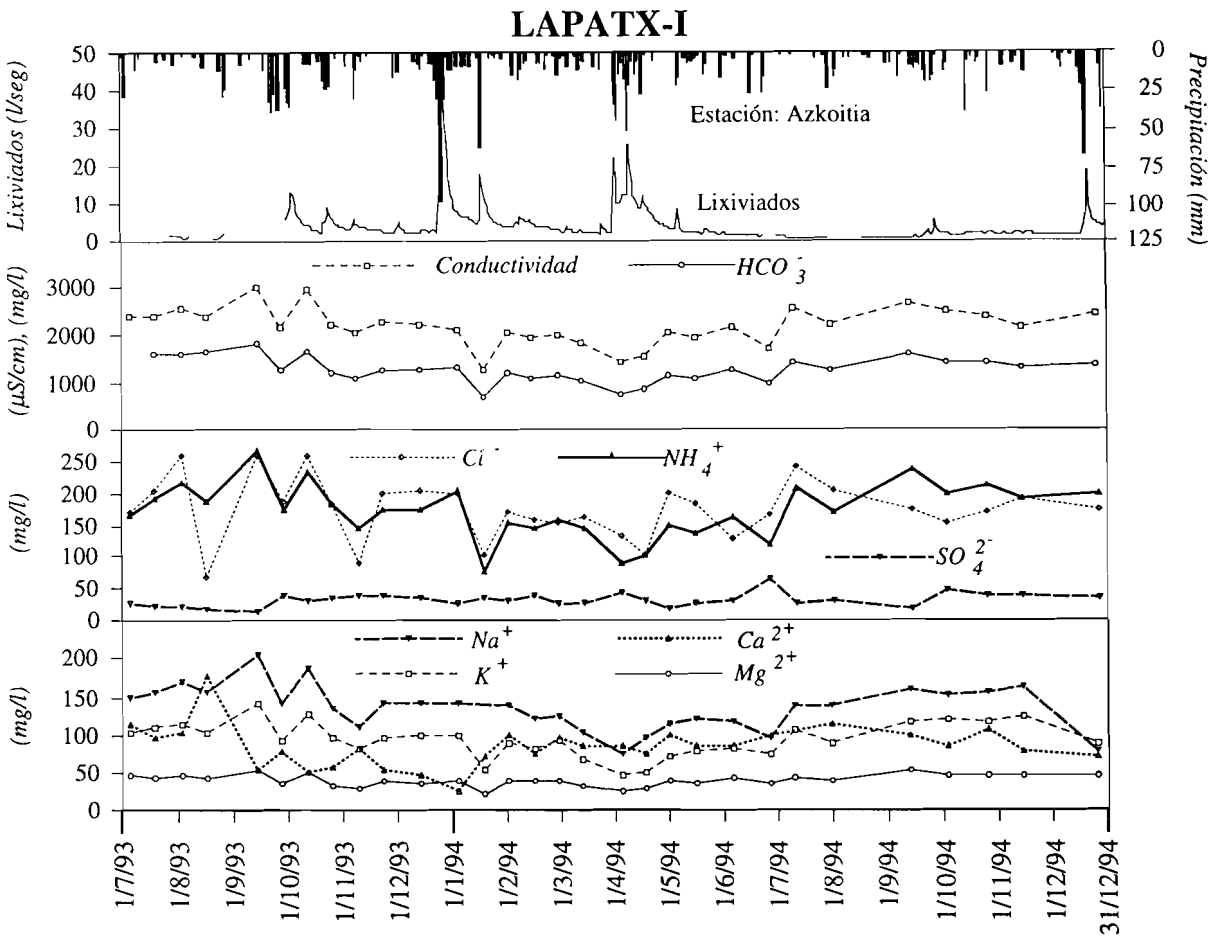


Figura 6.2. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Lapatx.

La relación de las concentraciones medidas con los caudales existentes en el momento de muestreo no es del todo evidente, aunque sí se aprecia cómo en el segundo análisis de Enero de 1994 y en los 2 de Abril del mismo año, efectuados en momentos de caudales elevados, las concentraciones disminuyen considerablemente. Puede hablarse por tanto de una relación inversa entre caudales y concentraciones.

En la segunda de las figuras, se representa a lo largo de 6 años la evolución de los parámetros DQO, conductividad, Cl^-, $N\text{-}NH_4^+$, pH, PO_4^{3-}, S.S. y TOC. Al igual que en la gráfica anterior, no se aprecian tendencias de evolución claras a pesar de que en este caso se ha considerado un periodo de tiempo 4 veces superior. Una excepción podría ser el caso de la DQO, que a partir de Mayo de 1992 se mantiene con valores bajos de forma bastante homogénea.

Aparte de la relación existente entre la conductividad y Cl^-, y en menor medida con $N\text{-}NH_4^+$, no se aprecian relaciones claras entre las evoluciones de los parámetros representados. Los rangos de variación son bastante importantes (especialmente en el caso de S.S.), con frecuentes aumentos y descensos importantes, sin que se pueda establecer una relación directa con los caudales o precipitaciones previas al momento de muestreo.

Por último, en la Figura 6.4 se representa la evolución de los metales más abundantes (Fe, Al, Mn, Zn, Cr). El Fe es el más abundante con diferencia, sobrepasando en ocasiones

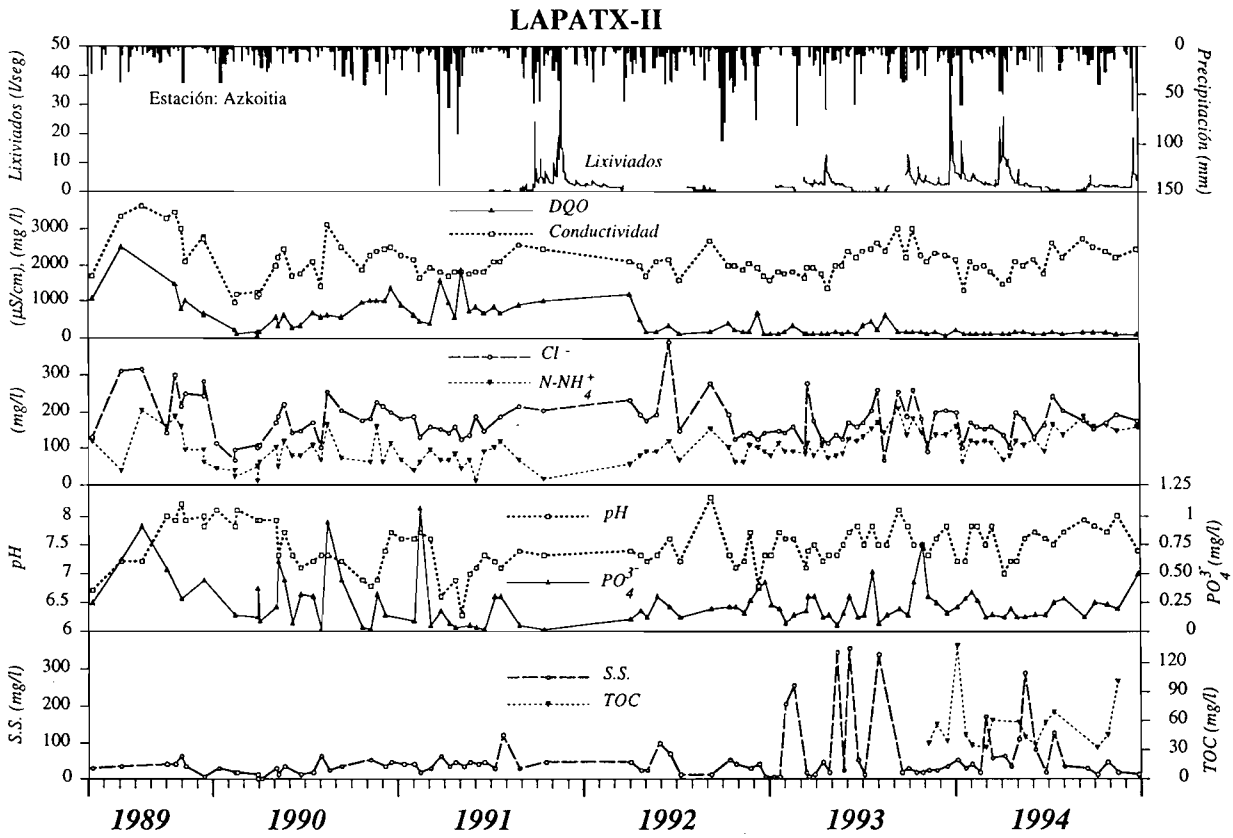


Figura 6.3. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Lapatx.

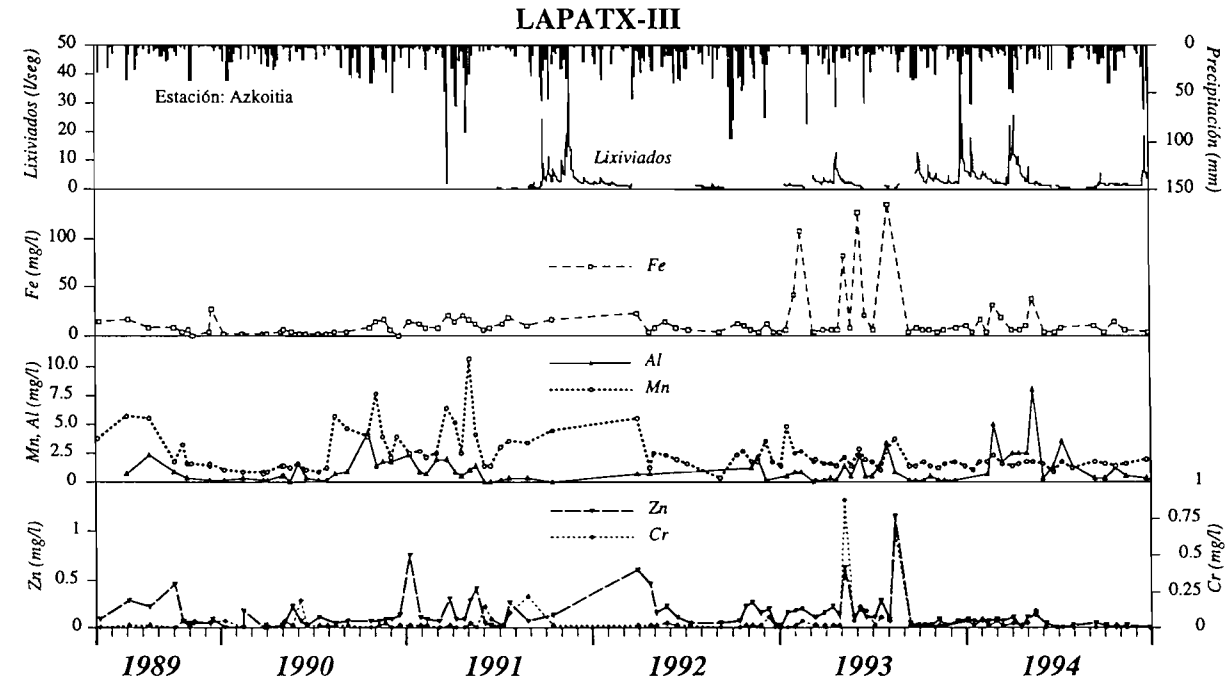


Figura 6.4. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Lapatx.

los 100 mg/l, seguido del Mn, Al, Zn y Cr. Estos 2 últimos en ningún caso superan los 2 mg/l. No se evidencian tendencias temporales ni relaciones entre las evoluciones de los parámetros a excepción de la coincidencia de algunos picos en varios de ellos. Los rangos de variación son muy importantes, especialmente en el caso del Fe, en donde de concentraciones normales de unos 10-30 mg/l puede pasarse hasta 135 mg/l, sin que los caudales registrados parezca que afecten a estas variaciones.

El cambio de las técnicas de análisis empleadas para la determinación de los metales (a partir de Mayo de 1991 se digieren las muestras en vez de limitarse a un filtrado), no parece que afecte al rango de las concentraciones medidas. Esto puede ser indicativo de que la mayoría de los metales se encuentran en los lixiviados en forma disuelta, ya que si no fuera así debería de haberse producido un incremento claro en las concentraciones resultantes como consecuencia de la digestión de las muestras.

Matriz de correlación

En la Tabla 6.8 se muestra la matriz de correlación realizada de acuerdo a los criterios enunciados en el apartado 6.5.1. Su estudio permite corroborar algunas observaciones ya enunciadas y poner de manifiesto relaciones entre parámetros todavía no deducidas.

LAPATX	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	
1 Temp.	1		31					30																26	27	27		27		Temp.
2 pH		1													99											32				pH
3 Cond.	0,62		1			96	97	55																28	33	33		33		Cond.
4 Turb.				1																										Turb.
5 S.S.					1								75	92			91													S.S.
6 Cl			0,71			1																			33	33		33		Cl
7 NH4			0,63				1	54																28		33		33		NH4
8 NTK	0,56		0,73				0,80	1																27	32	32		32		NTK
9 PO4									1																					PO4
10 DQO										1	54	69			97									28	33	33	32	33	16	DQO
11 DBO5										0,90	1										24			20	25	25	24	25	12	DBO5
12 C.a.e.										0,59		1			17									17		18		18		C.a.e.
13 Al					0,59								1																	Al
14 Fe					0,89									1							33									Fe
15 Mn		-0,56								0,70		0,53			1												32			Mn
16 Zn																1	97	35									32			Zn
17 Cr					0,52											0,57	1	34									30			Cr
18 Cu																0,78	0,918	1									28			Cu
19 Ni																			1	36	32									Ni
20 Cd																			0,94	1	36									Cd
21 Pb											0,64			0,62						0,54	1									Pb
22 NO3																						1								NO3
23 SO4																							1	28						SO4
24 CO3H	0,69		0,95				0,93	0,94		0,55	0,57	0,67											-0,53	1	28	28		28		CO3H
25 Na	0,52		0,76			0,74		0,50		0,73	0,77													0,85	1	33		33		Na
26 K	0,57	0,53	0,83			0,62	0,53	0,53		0,56	0,54	0,64												0,90	0,76	1		33		K
27 Ca										0,68	0,57				0,56	0,51	0,54	0,63									1	32		Ca
28 Mg	0,65		0,70			0,63	0,55	0,60		0,73	0,79	0,53												0,87	0,83	0,57	0,50	1		Mg
29 TOC										0,51	0,61																		1	TOC

Tabla 6.8. Matriz de correlación. Vertedero de Lapatx.

Los mayores coeficientes de correlación se dan entre el grupo formado por los parámetros: conductividad, NH_4^+, NTK, CO_3H^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+}, con valores normalmente superiores a 0,6, aunque en algunos casos (NH_4^+-Na^+) no alcanza por poco el valor de 0,5. Por el lado contrario tenemos las correlaciones que se dan entre la conductividad y CO_3H^- (0,95) y CO_3H^- con K^+ (0,90), que son las mayores registradas. Los componentes de este grupo puede considerarse, por tanto, que están íntimamente relacionados. La temperatura, Cl^-, DQO y DBO_5 también se correlacionan con parte de ellos (conductividad, Na^+, K^+ y Mg^{2+}).

El resto de los iones considerados (Ca^{2+}, SO_4^{2-}, NO_3^- y PO_4^{3-}) no presentan relación significativa con los parámetros anteriores, ni con otros, a excepción del SO_4^{2-} con CO_3H^- (-0.53) y del Ca^{2+} que se relaciona con otros parámetros (metales, DQO y DBO_5).

La DQO, DBO_5 y TOC también forman un grupo de parámetros bien correlacionados. La DQO presenta de igual forma coeficientes destacables con C.a.e., Mn, CO_3H^-, Na^+, K^+,

Ca^{2+} y Mg^{2+}. Sin embargo, estos parámetros no constituyen un grupo relacionado, ya que entre sí no siempre se relacionan con un mínimo aceptable.

Respecto a los metales, cabe mencionar los coeficientes entre el grupo formado por el Zn, Cr, Cu con Ca^{2+}, y entre el grupo formado por el Ni-Cd y Pb, aunque en este último caso hay que tener en cuenta el elevado número de determinaciones situadas por debajo del límite de detección que hace que estos coeficientes no sean del todo reales al haberse sustituido los límites por su valor mitad. El Al se correlaciona con los S.S. (0,59). El Fe con S.S. (0,88) y Pb (0,62), mientras que el Mn lo hace con Ca^{2+}, Cae, pH (-0,56) y DQO (0,7).

6.5.3. VERTEDERO DE SAN MARCOS

Del vertedero de San Marcos se dispone de 162 muestras, siendo con diferencia el vertedero más muestreado de todos los estudiados. La procedencia de las mismas es variable, 105 han sido analizadas en el laboratorio de Fraisoro, 53 en el de Osakidetza de Donostia y 4 en los laboratorios de LABEIN. El año con menor número de muestras es 1989 con 14, mientras que 1993 es el que dispone del mayor número, con 52 (Tabla 6.2).

Se dispone en conjunto de 2.581 determinaciones relativas a 36 parámetros diferentes de las que 329 (12,7%) estaban por debajo del límite de detección de los aparatos.

En la Tabla 6.9 se presentan los principales valores estadísticos de los 36 parámetros analizados. De 11 parámetros se dispone de más de 100 determinaciones, siendo la conductividad el que ha sido determinado en mayor número de ocasiones (N= 160). Por contra, 5 (TOC, NO_2^-, P, detergentes y sulfuros) cuentan con menos de 20 determinaciones.

De los parámetros estudiados, 14 siguen modelos de distribución normal. Además de gran parte de los iones mayoritarios (NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3H^- y Cl^-), también presentan distribuciones normales la temperatura, conductividad, NTK, C.a.e., Fe, Mn y PO_4^{3-}. Otros 10 presentan distribuciones lognormales (pH, turbidez, S.S., DQO, DBO_5, Al, Zn, Ni, Cr y NO_3^-. Por su parte, Pb, SO_4^{2-}, NO_2^- y fenoles no se ajustan a ninguna de estas 2 distribuciones.

Los valores de bastantes de los parámetros son muy elevadas. Llama la atención los de la conductividad y CO_3H^-, con valores medios de 5.391 µS/cm y 2.328 mg/l, y en general de otros parámetros como DQO, NTK, Fe, K.

La clasificación de cationes y aniones según sus concentraciones es prácticamente idéntica a la del vertedero de Lapatx (únicamente varía el orden de NO_2^- y PO_4^{3-}, aniones muy poco abundantes):

Cationes: $Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} >>> Mg^{2+}$
Aniones: $CO_3H^- >>> Cl^- >>> SO_4^{2-} >>> NO_3^- >>> PO_4^{3-} >> NO_2^-$
Metales: $Fe >>> Mn > Al >>> Zn > Pb > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg$

La secuencia de metales varía ligeramente con la de Lapatx. El Fe es el más abundante seguido del Mn, Al y Zn. El resto de metales analizados presentan concentraciones muy bajas, con valores medios menores a 0,16 mg/l y con abundantes determinaciones por debajo del límite de detección. El Pb y Ni son los relativamente más abundantes entre estos metales.

SAN MARCOS		N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	Temp.	34	-	17,7	17,9	1,93	10,9	9,9	2,5	11,3	16,5	19	21,2		normal
2	pH	159	-	7,19	7,10	0,49	6,8	2,1	0,8	6,1	6,8	7,6	8,2	5,5-9,5	log
3	Cond.	160	-	5.391	5.566	1.763	32,7	10.387	2.632	1.070	4.094	6.725	11.457		normal
4	Turbidez	153	-	73,1	52	82,7	113	667,2	56	2,8	28	84	670		log
5	S.S.	133	-	135	85	146	108	817	116	9	43	159	826	80	log
6	NH_4^+	134	-	338	340	172	50,9	682,1	254	17,9	223	477	700	15	normal
7	NTK	53	-	383	402	127	33,1	619	183	98	296	478	717		normal
8	DQO	135	-	1.371	1.120	787	57,4	4.652	852	218	918	1.770	4.870	160	log
9	DBO_5	88	-	562	431	383	68,3	1.903	392,5	17	322,5	715	1.920	40	log
10	C.a.e.	69	-	338	332	173	51,2	963,5	204	0,5	235	438	964		normal
11	TOC	17	-	440	449	199	45,2	659	271	98	298	569	757		normal
12	Fe	108	-	16,2	15,5	10,5	64,8	48,51	14,7	0,49	7,5	22,2	49	2	normal
13	Mn	108	-	2,97	2,9	1,50	50,5	7,47	1,84	0,38	1,91	3,74	7,85	2	normal
14	Al	86	3 (3,5)	1,60	1,07	1,63	102		1,37	< 0,02	0,59	1,96	8,7	1	log
15	Zn	103	2 (1,9)	0,28	0,21	0,31	110	-	0,15	< 0,02	0,16	0,31	2,8	3	log
16	Pb	47	28 (59,6)	0,16	-	0,30	193	-	-	< 0,02	-	0,14	1,38	0,2	
17	Ni	46	19 (41,3)	0,12	0,055	0,16	142	-	-	< 0,02	-	0,125	0,8	2	log
18	Cr	105	17 (16,2)	0,079	0,059	0,08	96,7	-	0,062	< 0,02	0,039	0,1	0,46	2	log
19	Cu	46	21 (45,7)	0,034	0,02	0,034	102	-	-	< 0,02	-	0,04	0,21	0,2	
20	Cd	49	42 (85,7)	0,024	-	0,034	138	-	-	< 0,02	-	-	0,16	0,1	-
21	Hg	59	52 (88,1)	-	-	-	-	-	-	< 0,5	-	-	51	0,05	-
22	Na^+	43	-	558	626	220	39,4	824	397	115	337	734	939		normal
23	K^+	42	-	218	229	77,8	35,7	442	87	61	175	262	503		normal
24	Ca^{2+}	42	-	170	155	91,3	53,8	606,9	74	9,1	126	200	616		normal
25	Mg^{2+}	39	-	41,6	41,8	14,4	34,6	88,4	15,5	12,6	32,2	47,7	101		normal
26	CO_3H^-	39	-	2.328	2.550	895	38,5	4.270	1.050	320	1.750	2.800	4.590		normal
27	Cl^-	103	-	822	872	395	48,1	1.930,7	580	34,3	570	1.150	1.965	2.000	normal
28	SO_4^{2-}	62	15 (24,2)	36,5	23,2	39,3	108	-	45,1	< 0,8	8,87	54	187	2.000	
29	NO_3^-	61	38 (62,3)	6,12	-	10,6	174	-	-	< 0,1	-	4,52	49,2		log
30	PO_4^{3-}	97	2 (2,1)	1,13	0,9	1,01	88,8	-	1,05	< 0,03	0,5	1,55	5,61		normal
31	NO_2^-	15	2 (13,3)	0,42	0,22	0,71	169	-	0,183	< 0,003	0,16	0,343	2,92		
32	CN	91	87 (95,6)	-	-	-	-	-	-	< 0,03	-	-	0,11	0,5	-
33	Fenoles	32	1 (3,1)	0,84	0,39	1,4	172	-	0,46	< 0,1	0,22	0,68	7,3	0,5	
34	P	8	-	1,64	1,12	1,59	97,2	4,9	1,1	0,5	0,74	1,84	5,4	10	-
35	Deterg.	6	-	0,81	0,86	0,49	60,3	1,33	0,84	0,2	0,33	1,16	1,53	2	-
36	Sulfuros	9	-	0,071	0,072	0,021	29	0,061	0,040	0,042	0,052	0,091	0,103	1	-
	TOTAL	2.581	329 (12,7)												

Tabla 6.9. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de San Marcos. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (µS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (µg/l).

Comparando los valores centrales de los distintos parámetros con las concentraciones máximas permitidas en vertidos a cauces públicos, se pone de manifiesto que 7 parámetros superan claramente los límites permitidos. Estos parámetros son S.S., NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe, Mn y Al (los mismos que en Lapatx más S.S.). Otros parámetros (Pb, Cu, Cd y Hg) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias (Cu y Hg sólo una vez). Según esto, y sin tratamiento previo, no podrían verterse estos lixiviados de forma directa a ningún cauce público.

Sí podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca de Bilbao, pero no a otras con límites menos permisivos, como los vigentes en Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+, NTK, DQO y Fe exceden lo permitido y los valores de algunas determinaciones de S.S., DBO_5, Mn, Pb, Hg y NO_3^- también).

Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH. Zn, Ni, Cr, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, P, detergentes y sulfuros.

Evoluciones temporales

En las Figuras 6.5, 6.6 y 6.7 se presenta la evolución temporal de los principales parámetros analizados. En la primera de ellas (conductividad y los elementos mayoritarios) no se aprecia ningún tipo de tendencia temporal en la evolución de estos parámetros. Cada parámetro se mantiene dentro de un mismo rango de variación a lo largo del periodo estudiado. Se aprecia, en cambio, una relación muy clara entre las evoluciones de todos los parámetros representados, excepto en el caso del Ca^{2+}, que sigue una evolución totalmente independiente a los demás. El paralelismo entre las evoluciones es, en algunos casos, casi perfecto como puede ser por ejemplo el existente entre las evoluciones de NH_4^+ y Na^+.

Las concentraciones máximas se dan en el caso del CO_3H^- (2.328 mg/l de valor medio), del orden de 3 veces más que de Cl^-. Salvo en algunas ocasiones con el Ca^{2+}, que toma valores superiores que el K^+, se cumple siempre la siguiente secuencia:

$$CO_3H^- > Cl^- > Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}.$$

Respecto a la relación de las concentraciones medidas con las precipitaciones registradas en la estación de Pasajes, situada a escasos kilómetros del vertedero, en general se aprecia una coincidencia entre los descensos de las concentraciones de todos los parámetros (salvo de Ca^{2+} que lo mismo aumenta que disminuye) con periodos lluviosos, pero no en todos los casos. Así, los importantes descensos de concentraciones que se registran en la muestra tomada a mediados de Septiembre de 1993 no se corresponden con un episodio lluvioso de importancia.

La segunda de las figuras (evolución de los parámetros DQO, conductividad, Cl^-, N-NH_4^+, pH, PO_4^{3-}, S.S. y TOC, a lo largo de 6 años) aunque tampoco permite apreciar tendencias de evolución excesivamente claras, sí permite realizar algunas observaciones de interés: el pH experimenta un descenso de valores considerable a partir de Diciembre de 1992, evolucionando a partir de esa fecha de forma algo más homogénea. El hecho de que estos pH sean valores medidos en laboratorio, y no en el momento del muestreo, condiciona la interpretación de esta observación. La DQO también parece que toma valores más homogéneos a partir de Abril de 1992. Por otra parte, parece apreciarse en el caso de la conductividad, Cl^- y NH_4^+ una ligera tendencia hacia valores superiores con el tiempo, aunque sería necesario contar con un periodo mayor de observación para confirmar esta observación.

Los rangos de variación son bastante importantes (especialmente en los caso de S.S., TOC, conductividad, Cl^-). Se dan frecuentes aumentos y descensos que no pueden relacionarse de forma clara con precipitaciones previas al momento de muestreo, aunque algunos descensos fuertes de conductividad y Cl^- sí coinciden con periodos lluviosos. Aparte de la relación existente entre la conductividad y Cl^- no se aprecian relaciones claras entre las evoluciones de los parámetros representados.

En la última de las figuras (Figura 6.7) se puede apreciar la ausencia de tendencias de evolución y de relaciones entre las evoluciones de los metales representados, aunque en algunos casos pueden coincidir picos de varios de ellos. Los importantes cambios de valores de un análisis a otro son muy significativos, y en ocasiones estos cambios no tienen una explicación lógica, como por ejemplo los descensos que sufren todos los metales en el análisis de Junio de 1989 o el aumento que sufre el Zn en el análisis de Abril de 1992. Tampoco hay una relación clara con las precipitaciones registradas.

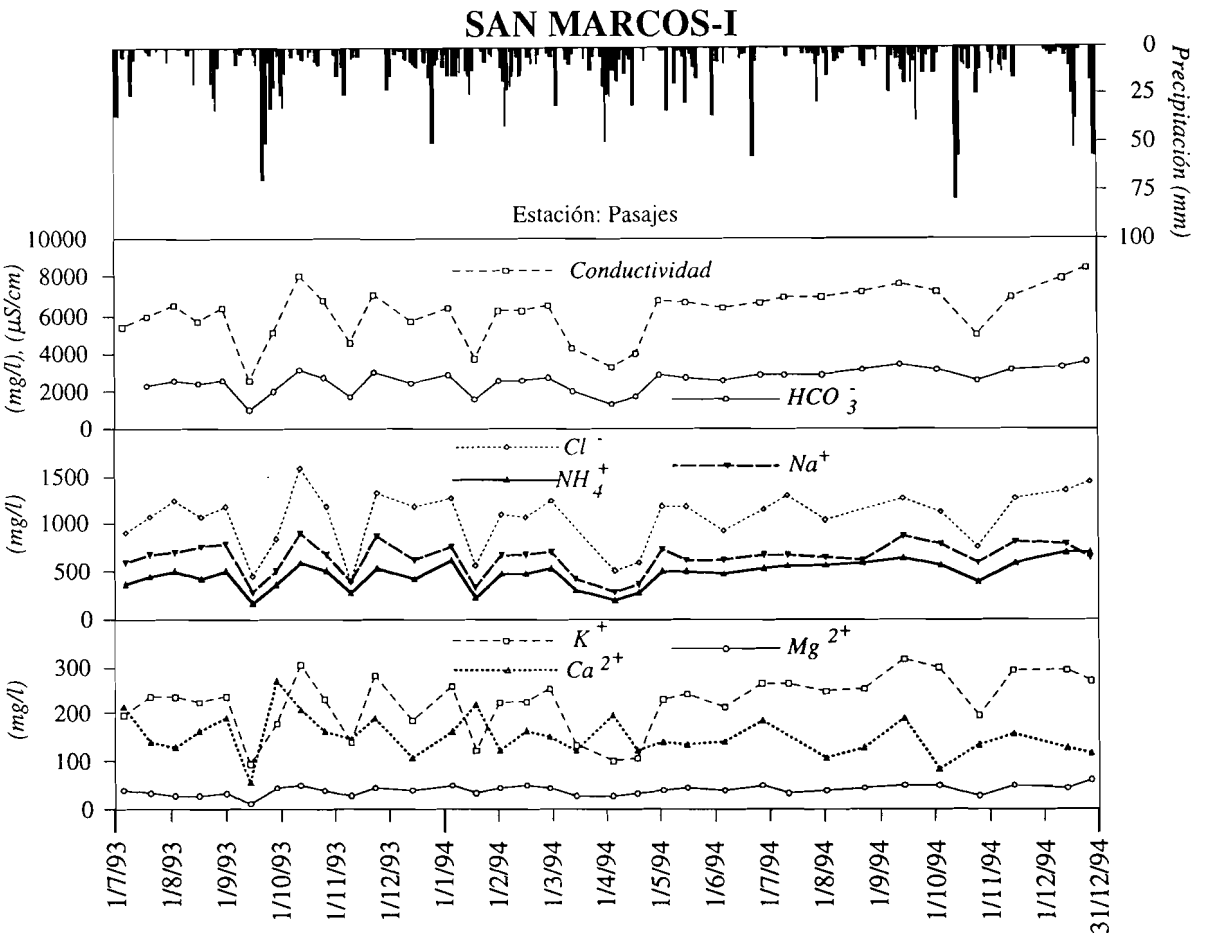


Figura 6.5. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de San Marcos.

El Fe es el metal más abundante con diferencia, llegando casi a los 50 mg/l. Su rango de variación es importante, prácticamente entre 0 y 50 mg/l. El Mn y Al no pasan de 9 mg/l, presentando también un rango de variación importante. El Zn y Cr son los menos abundantes. El primero de ellos presenta valores bastante homogéneos si exceptuamos las 2 muestras tomadas a finales de 1991 y primeros de 1992. El Cr, en cambio, presenta una mayor variabilidad dentro de rango de valores.

El cambio de la técnica de análisis empleada para la determinación de estos metales (Mayo de 1991) no afecta, al igual que en el caso de Lapatx, al rango de las concentraciones medidas.

Matriz de correlación

En la Tabla 6.10 se muestra la matriz de correlación realizada de acuerdo a los criterios enunciados en el apartado 6.5.1. Las mayores correlaciones se dan entre el grupo formado por los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+, NTK, CO_3H^-, Na^+, K^+, con valores normalmente superiores a 0,6. La temperatura, C.a.e. y PO_4^{3-} también presentan coeficientes altos con parámetros de este conjunto pero no con todos. Las mayores correlaciones se dan entre la conductividad y CO_3H^- (0,96) y CO_3H^- con NTK (0,94). Los iones restantes considerados (Ca^{2+}, SO_4^{2-}, NO_3^-) presentan relaciones menos interesantes. El NO_3^- no se correlaciona bien con nadie. El SO_4^{2-} sólo con TOC y con la temperatura, mientras que el Ca^{2+} lo hace con DQO, DBO_5 y Mn.

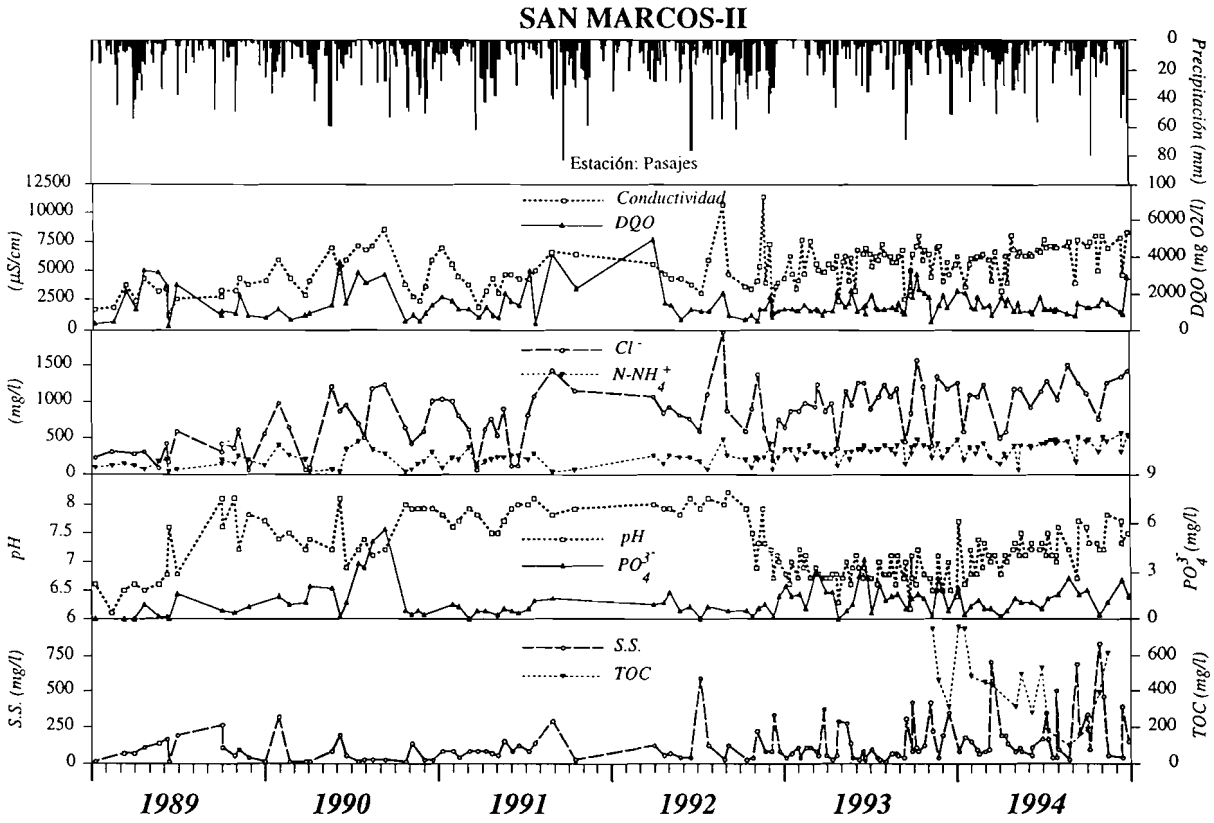


Figura 6.6. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de San Marcos.

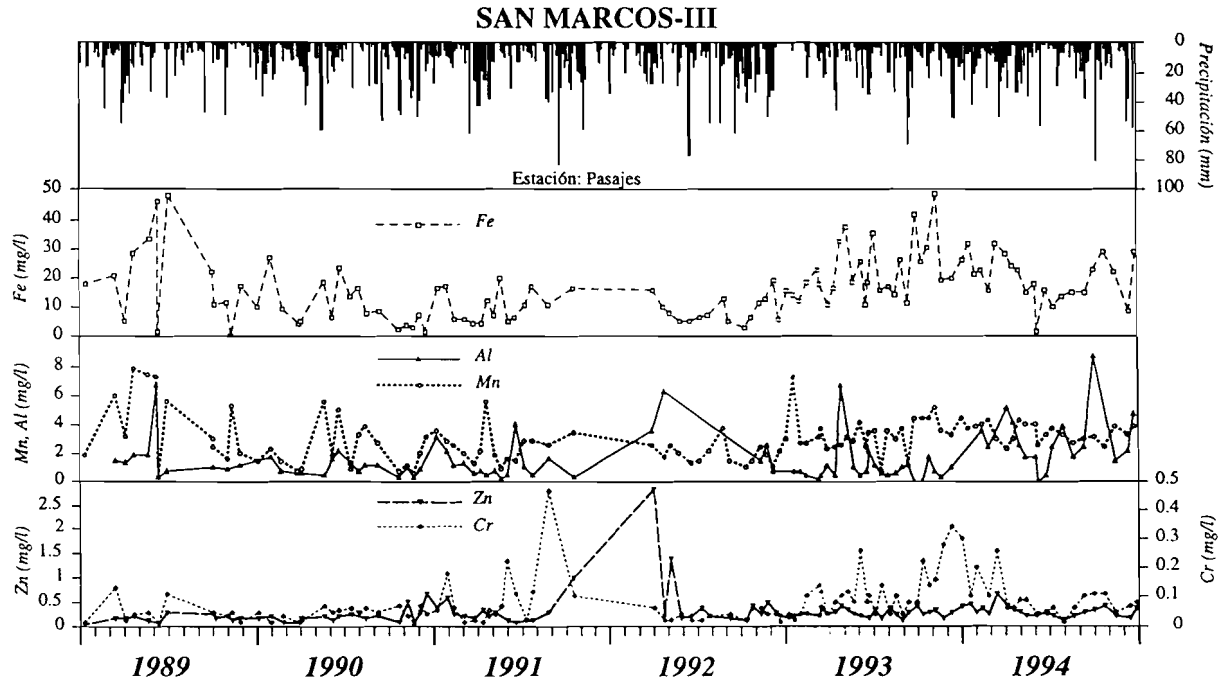


Figura 6.7. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de San Marcos.

S. MARCOS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	
1 Temp.	1		34				33	33			25			34									32	30	31	31					Temp.
2 pH		1				103	134	53	97			69		107										39	43	42					pH
3 Cond.	0,55		1																					39	43	42					Cond.
4 Turb.				1	127																										Turb.
5 S.S.				0,73	1																										S.S.
6 Cl			0,85			1	103	51				67												36	41	40			29		Cl
7 NH4	0,54		0,74			0,59	1	52																39	43	42			31		NH4
8 NTK	0,50		0,74			0,64	0,84	1	48															30	34	34					NTK
9 PO4			0,62					0,54	1			65												38	39	38					PO4
10 DQO										1	88																42		32		DQO
11 DBO5	-0,51									0,66	1			64	64												30			12	DBO5
12 C.a.e.			0,76			0,67			0,50			1												21	21	21		21			C.a.e.
13 Al													1																		Al
14 Fe	-0,50	-0,55									0,60			1	108															17	Fe
15 Mn											0,54			0,58	1												42		32	17	Mn
16 Zn																1															Zn
17 Cr																	1														Cr
18 Cu																		1													Cu
19 Ni																			1	45	45										Ni
20 Cd																			0,88	1	46										Cd
21 Pb																			0,82	0,84	1	1									Pb
22 NO3																						1									NO3
23 SO4	-0,67																						1							15	SO4
24 CO3H	0,53	0,61	0,96			0,92	0,87	0,95	0,71			0,79												1	38	38		35			CO3H
25 Na	0,52	0,62	0,93			0,93	0,92	0,84	0,70			0,72												0,90	1	42					Na
26 K	0,60	0,71	0,91			0,84	0,75	0,83	0,74			0,83												0,92	0,84	1		39			K
27 Ca										0,63	0,50				0,65												1		30	15	Ca
28 Mg												0,61												0,81		0,52		1			Mg
29 Fenoles						-0,53	-0,53			0,70					0,76												0,92		1	17	Fenoles
30 TOC											0,77			0,60	0,53								0,78				0,67		0,72	1	TOC

Tabla 6.10. Matriz de correlación. Vertedero de San Marcos.

La DQO presenta coeficientes destacables únicamente con DBO_5, Ca^{2+} y fenoles, relacionándose también entre sí DBO_5 y fenoles. Los S.S., por su parte, se correlacionan con la turbidez (0,72).

Respecto a los metales, cabe mencionar que Fe y Mn se correlacionan entre sí con un coeficiente aceptable (0,58), correlacionándose ambos también con TOC y DBO_5, así como éstos entre sí. También se dan altos coeficientes ($r > 0,8$) entre el grupo formado por Ni-Cd y Pb, aunque en este último caso hay que tener en cuenta el elevado número de determinaciones situadas por debajo del límite de detección que hace que estos coeficientes no sean del todo reales. Por otra parte, el Fe también presenta coeficientes altos con pH y temperatura (con ambos negativos), y el Mn con fenoles y Ca^{2+}. En cambio, Al, Zn, Cr y Cu no se relacionen con ningún otro parámetro.

6.5.4. VERTEDERO DE PETRITEGI

Del vertedero de Petritegi se cuenta con 97 muestras de lixiviados analizadas todas ellas en los laboratorios de Fraisoro. El año con menor número de muestras es 1989 con 5. La primera muestra se recogió el día 22-6-1989, tras haberse dejado ya de verter residuos en este vertedero para pasar a verterlos en el de San Marcos. Por tanto, todas las muestras han sido recogidas durante periodos en los que el vertedero se encontraba inactivo. El año en el que se recogieron mayor número de muestras fue 1993 con 25.

En total se han considerado 1986 determinaciones relativas a 35 parámetros distintos de las que 282 (14,2%) se situaban por debajo del límite de detección de los aparatos.

En la Tabla 6.11 se resumen los principales valores estadísticos de estos parámetros. De 9 parámetros se dispone de más de 90 determinaciones, siendo Mn y Cr los que cuentan con mayor número de determinaciones válidas (N= 96). Por contra, 4 (TOC, NO_2^-, P y Cr^{6+}) cuentan con menos de 20 determinaciones, destacando el P. del que sólo se dispone de 1 determinación.

De los parámetros estudiados, 13 siguen modelos de distribución normal. Además de los iones (CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) también presentan distribuciones normales la temperatura, NTK, C.a.e., TOC y Cu. Otros 13 presentan distribuciones

	PETRITEGI	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	Temp.	35	-	20,6	20,2	2,68	13	11,1	3,9	16,7	18,6	22,5	27,8		normal
2	pH	95	-	7,94	7,90	0,19	2,4	1,1	0,2	7,4	7,8	8	8,5	5,5-9,5	
3	Cond.	93	-	7417	6.600	2.764	37,3	14.760	3.540	2.840	5.415	8.955	17.600		log
4	Turbidez	87	-	21,3	10	29	136	133,9	27,5	0,1	2,5	30	134		log
5	S.S.	83	6 (7,2)	117	21	237	203		82	< 5	10	92	1.360	80	log
6	NH_4^+	93	-	625	570	348	55,6	1.824,7	315	15,3	423	738	1.840	15	log
7	NTK	51	-	467	468	162	34,7	787	177	213	356	533	1.000		normal
8	DQO	95	-	1531	778	1605	105	7.739	1.577	211	483	2.060	7.950	160	log
9	DBO_5	55	6 (10,9)	171	90	182	106	-	270	< 20	30	300	840	40	log
10	C.a.e.	69	-	385	341	225	58,4	964	294	19	220	514	983		normal
11	TOC	17	-	186	176	97,6	52,4	365	100	77	119	219	442		normal
12	Fe	90	-	21,3	7,51	39,4	185	175,23	9,91	0,77	3,94	13,9	176	2	log
13	Mn	96	1 (1,04)	1,61	1,18	1,83	114	-	1,33	< 0,02	0,41	1,74	10,8	2	log
14	Al	77	4 (5,2)	2,15	0,9	3,25	151	-	2,21	< 0,2	0,49	2,69	17,4	1	log
15	Zn	92	2 (2,2)	0,34	0,18	0,52	152	-	0,29	< 0,04	0,11	0,40	4,4	3	log
16	Pb	38	25 (65,7)	0,16	-	0,34	213	-	-	< 0,02	-	0,06	1,54	0,2	
17	Ni	35	15 (42,8)	0,15	0,08	0,21	138	-	-	< 0,02	-	0,18	0,98	2	log
18	Cr	96	15 (15,6)	0,14	0,08	0,17	124	-	0,118	< 0,02	0,043	0,16	1,08	2	log
19	Cu	37	4 (10,8)	0,17	0,14	0,13	75,9	-	0,205	< 0,02	0,055	0,26	0,5	0,2	normal
20	Cd	38	33 (86,8)	0,029	-	0,04	140	-	-	< 0,02	-	-	0,18	0,1	-
21	Hg	54	50 (92,5)	-	-	-	-	-	-	< 0,5	-	-	29	0,05	-
22	Na^+	31	-	470	471	138	29,4	510	249	238	345	594	748		normal
23	K^+	30	-	273	261	75	27,4	257	114	158	213	327	415		normal
24	Ca^{2+}	30	-	117	114	43,8	37,5	203,6	65,5	44,4	84,3	149,8	248		normal
25	Mg^{2+}	31	-	88,1	83,5	33,1	37,6	111,2	59,3	45,8	57,7	117	157		normal
26	CO_3H^-	30	-	2756	2.710	618	22,4	2.550	850	1.460	2.420	3.270	4.010		normal
27	Cl^-	93	-	727	664	325	44,7	1.596	429,5	124	504,5	934	1.720	2.000	normal
28	SO_4^{2-}	51	6 (11,7)	162	138	150	92,5	-	248	< 0,2	14,1	262	552	2.000	normal
29	NO_3^-	50	8 (16)	46,6	42,2	44	94,6	-	61,4	< 0,1	10,3	71,8	184		normal
30	PO_4^{3-}	89	-	4,11	1,77	4,61	112	16,94	5,96	0,06	0,83	6,78	17		log
31	NO_2^-	8	-	3,49	4,02	1,55	44,3	4,995	1,66	0,155	2,80	4,46	5,15		-
32	CN	86	80 (93)	-	-	-	-	-	-	< 0,03	-	-	0,38	0,5	-
33	Fenoles	25	23 (92)	-	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	0,16	0,5	-
34	P	1	-	-	-	-	-	-	-	8,63	-	-	8,63	10	-
35	Cr^{6+}	5	4 (80)	-	-	-	-	0,05	-	0,05	-	-	0,1	0,2	-
	TOTAL	1.986	282 (14,2)												

Tabla 6.11. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Petritegi. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (µS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (µg/l).

lognormales (conductividad, turbidez, S.S., NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe, Mn, Al, Zn, Ni, Cr y PO_4^{3-}. Únicamente pH y Pb no se ajustan a ninguna de estas 2 distribuciones.

Respecto a los ordenes de magnitud de estos parámetros, destacan los de la conductividad y CO_3H^-, con valores medios de 7.417 µS/cm y 2.756 mg/l, y en general los de otros parámetros como S.S., DQO, NH_4^+, NTK y Fe.

La clasificación de cationes y aniones según sus concentraciones presenta algunas diferencias con respecto a la de los vertederos previamente estudiados (en este caso, el catión más abundante es NH_4^+, claramente superior a Na^+; en cambio, la secuencia de aniones es idéntica a la de San Marcos, con concentraciones de CO_3H^- que casi cuadriplican las de Cl^-):

Cationes: $NH_4^+ > Na^+ > K^+ >> Ca^{2+} > Mg^{2+}$
Aniones: $CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} >> NO_3^- >>> PO_4^{3-} > NO_2^-$
Metales: Fe >>> Al > Mn >>> Zn > Pb = Ni = Cr = Cu > Cd > Hg

También la secuencia de metales es en parte diferente a la de los vertederos anteriores. El Fe es el más abundante (21,3 y 7,5 mg/l como media y mediana respectivamente), pero en

segundo lugar aparece el Al en vez del Mn. El Zn les sigue a continuación con valores bastante inferiores (0,34 de valor medio). El resto de metales analizados (Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg) presentan concentraciones muy bajas, con valores medios menores a 0,17 mg/l y con abundantes determinaciones por debajo del límite de determinación. El Cu y Pb son los relativamente más abundantes de este grupo y Cd y Hg los menos y, a la vez, los que presentan un mayor número de determinaciones por debajo de los límites de detección (> del 85%).

Comparando los valores centrales de los parámetros con las concentraciones máximas permitidas en vertidos a cauces públicos, vemos en esta ocasión que 6 parámetros superan los límites permitidos. Estos parámetros son S.S. (sólo la media, no la mediana), NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe y Al. Otros parámetros (Mn, Zn, Pb, Cu, y Cd) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias. Al igual que en casos anteriores, sin tratamiento previo no podrían verterse estos lixiviados de forma directa a cauce público.

Tampoco podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca del Gran Bilbao (exceso de NH_4^+) ni a los de Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+, NTK, DQO, Fe y NO_3^- exceden lo permitido y los valores de algunas determinaciones de S.S, DBO_5, Mn, Al y Pb también).

Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH, Ni, Cr, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, fenoles, P y Cr^{6+}.

Evoluciones temporales

Las evoluciones temporales de los parámetros analizados más característicos se presentan en las Figuras 6.8, 6.9 y 6.10.

En la primera (conductividad y los elementos mayoritarios) no se aprecian tendencias temporales en las distintas evoluciones representadas, manteniéndose cada parámetro dentro de unos mismos rangos de variación a lo largo del periodo estudiado.

Las relaciones entre las evoluciones de los parámetros representados no son tan evidentes como lo son en el caso de los 2 vertederos estudiados previamente. Si bien se observa un paralelismo entre conductividad, Cl^- y CO_3H^-, Na^+ y K^+, la relación con CO_3H^- es más imprecisa. El NH_4^+ evoluciona durante varios periodos de forma diferente a la de todos estos iones, y no digamos ya SO_4^{2-} y Ca^{2+} que claramente difieren del resto en cuanto a su evolución.

Las concentraciones máximas se dan en el caso del CO_3H^-, del orden de 4 veces más que de Cl^- y NH_4^+. Con los datos disponibles, se cumplen siempre las siguientes secuencias: $CO_3H^- > Cl^- > SO_4^{2-}$ y $Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$. Los valores de NH_4^+ y Ca^{2+} pueden ser tanto superiores como inferiores a los de varios de los elementos citados.

En general se aprecia una relación entre las concentraciones medidas y las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de Pasajes (la más cercana), aunque no en todos los casos. Ejemplos de esta relación pueden ser los generalizados aumentos de concentraciones que se dan en el segundo análisis de Octubre de 1993, en el primero de Mayo

de 1994 y en el segundo de Agosto de este mismo año (momentos no afectados por precipitaciones previas apreciables). O también los descensos generalizados de concentraciones que se dan en el primer análisis de Noviembre de 1993 y en el primero de Abril de 1994 (en fechas con precipitaciones considerables).

La segunda de las figuras (evolución de los parámetros DQO, conductividad, Cl^-, $N\text{-}NH_4^+$, pH, PO_4^{3-}, S.S. y TOC) no permite establecer tendencias de evolución de una forma definitiva, pero sí realizar algunas observaciones: la conductividad y DQO sufren un ligero descenso más o menos continuado a lo largo de los 6 años considerados. Incluso podría hablarse de una tendencia descendente, aunque quizás el periodo de tiempo considerado sea aún limitado para hacer esta afirmación. En estos parámetros y en $N\text{-}NH_4^+$ también se observa una homogeneización de los valores a partir de los primeros meses de 1993, lo que podría estar relacionado con las obras de mejora de la clausura del vertedero que incluyeron mejoras en la red de drenaje de los lixiviados y la construcción de una arqueta a la que van a parar todos ellos y de donde fueron muestreados a partir de su construcción.

Los PO_4^{3-} también parece que disminuyen progresivamente en el tiempo y también alcanza valores más homogéneos a partir de Enero de 1993. En cambio, Cl^- y pH no sufren cambios apreciables a lo largo del periodo estudiado.

Salvo, quizás, en el caso de la conductividad con Cl^- no se aprecian relaciones claras entre las evoluciones de los parámetros representados.

Los rangos de variación son bastante importantes (especialmente en los casos de S.S., conductividad y Cl^- durante los primeros 3 años de control). Los TOC también varían considerablemente. Los frecuentes aumentos y descensos no pueden relacionarse de forma clara con ausencia o presencia de precipitaciones previas al momento de muestreo, en parte debido a la dificultad encontrada en interpretar la gráfica de precipitaciones, que al contener tantos datos, no permite diferenciar con nitidez los periodos poco lluviosos de los muy lluviosos.

En la última de las figuras (Figura 6.10, evolución de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr) no se aprecian tendencias de evolución ni relaciones significativas entre las evoluciones de los parámetros. A pesar de ello, en algunos casos pueden coincidir picos de varios de ellos.

Es de destacar el hecho de la poca variabilidad de las concentraciones de Fe, Al, Mn y Zn hasta Mayo-Junio de 1991 y entre Enero y Diciembre de 1994, en ambos periodos manteniéndose en rangos muy bajos, independientemente de la importancia de las precipitaciones registradas. Entre medias de estos 2 periodos la variabilidad de los valores es considerable. El inicio de este periodo de mayor variación coincide con el momento de sustitución de la técnica analítica utilizada (a partir de Mayo de 1991 se digieren las muestras), pero no parece ser esta la causa del cambio de valores, ya que si así fuera se hubiera mantenido el rango de variación también durante 1994. Posiblemente se deba a que el muestreo durante ese periodo se realizó en una zona no excesivamente propicia, en un arroyo sin canalizar correctamente que circulaba por la parte más baja del frente (es posible que al tomar la muestra se cogiera también sedimentos del fondo). Durante 1994 las muestras se recogieron en la nueva arqueta construida a tal efecto.

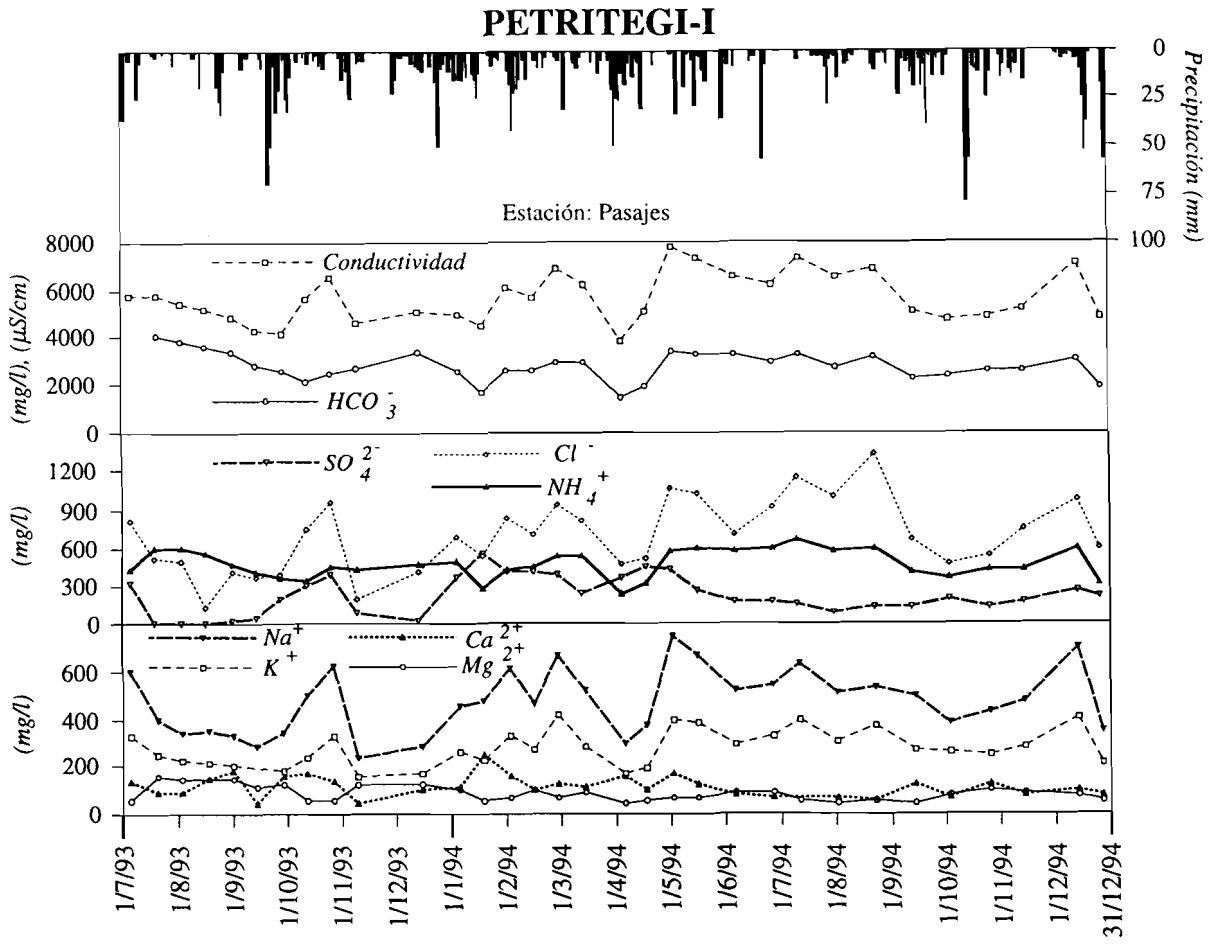


Figura 6.8. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Petritegi.

El Fe es el metal más abundante con diferencia, sobrepasando en ocasiones los 150 mg/l. Su rango de variación es muy importante, prácticamente entre 0 y 176 mg/l. El Mn y Al no pasan de 18 mg/l, mientras que el Zn y Cr no lo hacen de 4,5 mg/l. Todos ellos presentan también un rango de variación considerable, en general centrado en el periodo intermedio ya comentado anteriormente.

Matriz de correlación

En la Tabla 6.12 se muestra la matriz de correlación de los parámetros más analizados. Cabe destacar las correlaciones que se dan entre los siguientes grupos de parámetros:

- Conductividad, NH_4^+, PO_4^{3-}, DQO y C.a.e., con valores normalmente superiores a 0,6. NTK y CO_3H^- también presentan coeficientes altos con la mayoría de los parámetros de este conjunto pero no con todos. Las mayores correlaciones se dan entre la conductividad y PO_4^{3-} (0,8) y conductividad con C.a.e. (0,73).

- Conductividad, Cl^-, Na^+ y K^+, con coeficientes muy altos. El menor valor se da entre la conductividad y Cl^- (0,69), mientras que el mayor entre Na^+ y K^+ (0,96). La temperatura y Mg^{2+} se correlacionan con parámetros de este grupo y del anterior, pero no con todos.

- Fe, Mn y S.S.; Zn, Cr y Ca^{2+}; Ni, Cd y Pb. Los componentes de estas 3 ternas presentan en todos los casos coeficientes de correlación entre sí superiores a 0,6 (en el último

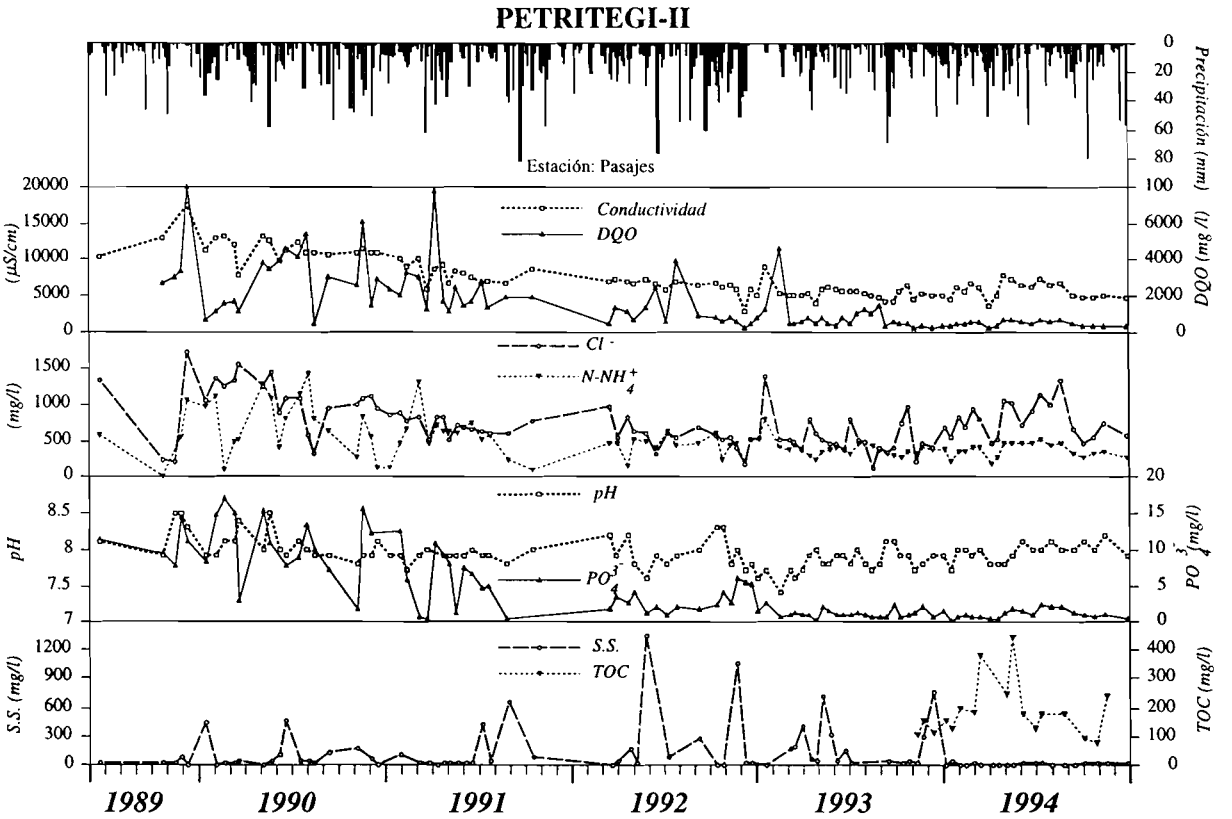


Figura 6.9. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Petritegi.

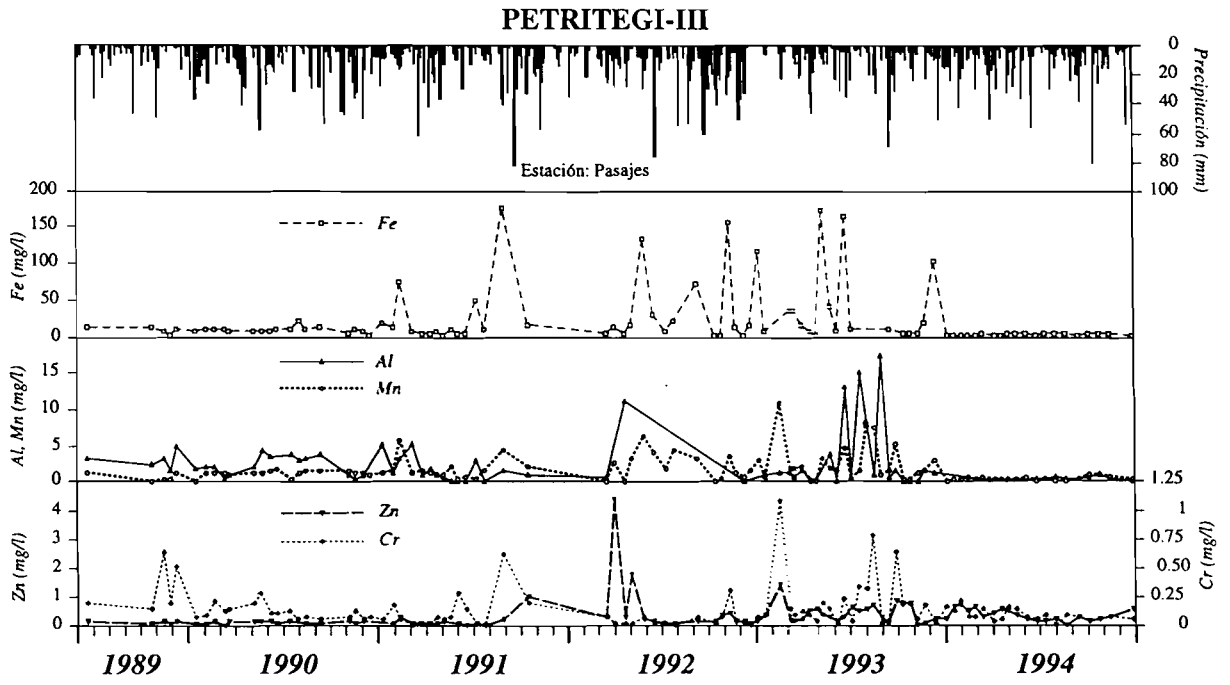


Figura 6.10. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Petritegi.

caso hay que tener en cuenta el elevado número de determinaciones situadas por debajo del límite de detección que sin duda resta significado a estas relaciones).

- La DQO, C.a.e. y TOC también se correlacionan entre sí.

Llama la atención el hecho de que todos los parámetros considerados, salvo el pH, se correlacionen aceptablemente (r >0.5) con algún parámetro, cosa que no ocurría en las matrices realizadas para otros vertederos. Sin embargo, estas correlaciones son un tanto difíciles de interpretar ya que es frecuente que un parámetro se correlacione con otros 3 o 4 pero que éstos no se correlacionen entre sí y que además cada uno de ellos se correlacione también con otros diferentes.

Entre otros hechos relevantes destacan las correlaciones negativas de Mg^{2+} y SO_4^{2-} con algunos iones mayoritarios (con Cl^- y Na^+ en el primer caso, y con CO_3H^- y Mg^{2+} en el segundo).

PETRITEGI	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	
1	Temp.	1		35	31		33	33		33		24													30	29		30		Temp.
2	pH		1																											pH
3	Cond.	0,65		1			91	91	51	87	92		69												31	30			17	Cond.
4	Turb.	-0,51			1									70										44	28			28		Turb.
5	S.S.					1									83	83														S.S.
6	Cl	0,72		0,69			1						68											51	31	30		31	15	Cl
7	NH4	0,50		0,59				1	49	88	92		68													30		30			NH4
8	NTK			0,73				0,53	1		51		40									42		29							NTK
9	PO4	0,61		0,81				0,53		1	88		64																		PO4
10	DQO			0,66				0,51	0,62	0,57	1	54	69											30				31	17	DQO
11	DBO5										0,61	1																21		DBO5
12	C.a.e.	0,67		0,73			0,61	0,66	0,50	0,63	0,57		1												20	20			9	C.a.e.
13	Al				0,54									1										27				28		Al
14	Fe					0,66									1	90														Fe
15	Mn					0,63									0,74	1		96						51				31		Mn
16	Zn																1	36									30			Zn
17	Cr															0,56		1												Cr
18	Cu																0,74	1				34					30			Cu
19	Ni																		1	35	34								16	Ni
20	Cd																		0,80	1	37									Cd
21	Pb																		0,78	0,83	1									Pb
22	NO3								-0,56									0,53				1		30						NO3
23	SO4				-0,57		0,52								-0,50								1	30	31		30	31		SO4
24	CO3H							0,86	0,91		0,68			0,52								-0,52	-0,59	1				30		CO3H
25	Na	0,66		0,87	-0,52		0,91						0,80										0,50		1	30		31		Na
26	K	0,71		0,89			0,89	0,61					0,82												0,96	1				K
27	Ca															0,64		0,67					0,50				1			Ca
28	Mg	-0,50			0,81		-0,63				0,52	0,61		0,62	0,67								-0,64	0,66	-0,54			1		Mg
29	TOC			0,57			0,57				0,59		0,57						0,65										1	TOC

Tabla 6.12. Matriz de correlación. Vertedero de Petritegi.

6.5.5. VERTEDERO DE VENTAS

Durante el periodo considerado se han tomado en este vertedero un total de 99 muestras. De éstas, 95 se analizaron en el laboratorio de Fraisoro. Las 4 restantes se analizaron en los laboratorios LABEIN. La primera muestra fue recogida el 15-2-1989. Al igual que en los vertederos ya tratados, el año en el que se recogieron menos muestras fue el de 1989 (únicamente 5), siendo 1993, con 23, el que cuenta con mayor número de muestras. Este vertedero cesó en su actividad en Diciembre de 1992, por lo que todas las muestras recogidas en los 2 últimos años corresponden a un vertedero recién clausurado.

Se ha dispuesto de 2.051 determinaciones relativas a 36 parámetros distintos, de las que 286 (13,9%) se encontraban por debajo del límite de detección. Los principales valores estadísticos de estos parámetros se resumen en la Tabla 6.13. De 11 de estos parámetros se dispone de más de 90 determinaciones siendo la conductividad, DQO, Fe y Mn los que cuentan con un mayor número (98). Por contra, 5 (TOC, NO_2^-, P, Cr^{6+} y CO_3^{2-}) cuentan con menos de 20 determinaciones (CO_3^{2-} sólo ha sido analizado una vez).

De los parámetros estudiados, 16 siguen modelos de distribución normal. Los iones principales (NH_4^+, CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), así como la temperatura,

conductividad, NTK,, C.a.e., TOC, Fe, Mn y PO_4^{3-}. Otros 10 presentan distribuciones lognormales (turbidez, S.S., DBO_5, Al, Zn, Pb, Ni, Cr, Cu y NO_3^-. Únicamente, pH y DQO no se ajustan a ninguna de estas 2 distribuciones.

Los valores que toman los parámetros son muy elevados. Destacan los de la conductividad, CO_3H^- y Cl^- con valores medios de 8.502 µS/cm, 2.781 y 1.803 mg/l. Otros parámetros también alcanzan valores considerables (NH_4^+, NTK e iones mayoritarios).

La clasificación de cationes según sus concentraciones difiere con respecto a la del vertedero de Petritegi, también clausurado, asemejándose a la Lapatx y San Marcos. El Na^+ vuelve a ser el catión más abundante, doblando normalmente las concentraciones de NH_4^+. La secuencia de aniones es idéntica a la de San Marcos y Petritegi, aunque aquí las concentraciones de CO_3H^- no llegan a duplicar las de Cl^-:

Cationes: $Na^+ >> NH_4^+ > K^+ >> Ca^{2+} >> Mg^{2+}$
Aniones: $CO_3H^- > Cl^- >>> SO_4^{2-} >> NO_3^- >>> PO_4^{3-} > NO_2^-$
Metales: Fe > Mn >> Al >>> Zn > Pb > Ni = Cr > Cu = Cd > Hg

	VENTAS	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	Temp.	33	-	18,1	18	2,05	11,3	10,2	3	11,4	16,9	19,9	21,6		normal
2	pH	97	-	8,08	8,10	0,25	3	1,6	0,3	7.1	7,9	8,2	8,7	5,5-9,5	log
3	Cond.	98	-	8.502	8.694	2.852	33,5	12.620	3.373	1.980	7.028	10.400	14.600		normal
4	Turbidez	93	-	12,7	5,5	18,1	143	99,5	11,9	0.5	3,15	15	100		log
5	S.S.	94	5 (5,3)	26,7	18	27,1	101	-	26	< 2	9	35	141	80	log
6	NH_4^+	97	-	509	530	275	54	1.627,5	373	12.5	306	679	1.640	15	normal
7	NTK	49	-	519	532	188	36,2	725	287	145	356	643	870		normal
8	DQO	98	-	1.664	857	1.734	104	7.357	1.682	143	583	2.265	7.500	160	
9	DBO_5	54	7 (13)	102	50	127	124	-	89,5	< 20	33	123	640	40	log
10	C.a.e.	68	-	532	470	345	64,8	1.503,3	360	16.7	291	651	1.520		normal
11	TOC	17	-	216	203	102	47	351	106	109	131	236	460		normal
12	Fe	98	-	4,98	4,43	2,50	50,2	13,96	2,51	0,54	3,29	5,8	14,5	2	normal
13	Mn	98	-	2,71	2,44	1,88	69,5	14,47	2,67	0.13	1,23	3,90	14,6	2	normal
14	Al	77	4 (5,2)	1,13	0,69	1,44	128	-	1,04	< 0.2	0,3	1,34	8,8	1	log
15	Zn	96	2 (2,1)	0,19	0,13	0,28	147	-	0,11	< 0.02	0,08	0,19	2,2	3	log
16	Pb	38	25 (65,8)	0,17	-	0,32	188	-	-	< 0.02	-	0,11	1,3	0,2	log
17	Ni	37	14 (37,8)	0,13	0,08	0,17	125	-	-	< 0.02	-	0,15	0,62	2	log
18	Cr	96	10 (10,4)	0,13	0,094	0,11	84,7	-	0,12	< 0.02	0,06	0,18	0,57	2	log
19	Cu	37	13 (35,1)	0,032	0,02	0,02	67,2	-	-	< 0.02	-	0,04	0,1	0,2	log
20	Cd	41	34 (82,9)	0,027	-	0,03	116	-	-	< 0.02	-	-	0,14	0,1	-
21	Hg	53	48 (90,6)	-	-	-	-	-	-	< 0.5	-	-	32	0,05	-
22	Na^+	35	-	1.089	1.100	260	23,9	1187	244	413	996	1.240	1.600		normal
23	K^+	35	-	306	274	162	53	913,2	102	86.8	237	339	1.000		normal
24	Ca^{2+}	35	-	134	127	50	37,2	272,6	51	59.4	102	153	332		normal
25	Mg^{2+}	35	-	50,8	49,7	10,2	20,1	43,1	11,7	27.9	46,1	57,8	71		normal
26	CO_3H^-	30	-	2.781	2.795	767	27,6	3.020	883	1.060	2.325	3.208	4.080		normal
27	Cl^-	95	-	1.803	1.820	771	42,8	3.921,1	930	58.9	1.320	2.250	3.980	2.000	normal
28	SO_4^{2-}	51	5 (9,8)	94,3	91	60,9	64,6	-	55	< 2	65	120	286	2.000	normal
29	NO_3^-	52	14 (26,9)	32,2	22,7	33.7	105	-	-	< 1	-	43	160		log
30	PO_4^{3-}	87	2 (2,3)	1,94	1,48	1,63	84	-	2,3	< 0.03	0,61	2,91	6,6		normal
31	NO_2^-	10	-	1,44	0,72	1,51	105	4,98	1,25	0.37	0,55	1,79	5,35		-
32	CN	82	76 (92,7)	-	-	-	-	-	-	< 0.03	-	-	0,32	0.5	-
33	Fenoles	25	24 (96)	-	-	-	-	-	-	< 0.1	-	-	0,19	0,5	-
34	P	4	-	4,63	4,1	4,45	96,2	8,7	8,13	0.8	0,83	8,95	9,5	10	-
35	Cr^{6+}	5	3 (60)	0,15	-	0,20	132,2	-	-	< 0.1	-	0,343	0,44	0,2	-
36	CO_3^{2-}	1	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-	60		-
	TOTAL	2.051	286 (13,9)												

Tabla 6.13. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Ventas. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (µS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (µg/l).

La secuencia de metales también se asemeja más a la descrita en los vertederos de Lapatx y San Marcos que a la de Petritegi: el Fe es el más abundante (4,98 y 4,43 mg/l como media y mediana respectivamente); en segundo lugar aparece el Mn seguido del Al. El Zn les sigue con valores bastante inferiores (0,19 de valor medio). El resto de metales analizados (Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg) presentan concentraciones muy bajas, con valores medios menores a 0,17 mg/l y con abundantes determinaciones por debajo del límite de determinación. El Pb es el más abundantes de ellos y Cd y Hg los menos.

Los parámetros que superan los límites permitidos en vertidos a cauces públicos son (valores centrales); NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe, Mn y Al (sólo la media, no la mediana). Otros parámetros (S.S., Pb, Cd, Cl^- y Cr^{6+}) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias. Como en todos los casos hasta ahora vistos, sin tratamiento previo no podrían verterse estos lixiviados de forma directa a cauces públicos.

Tampoco podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca del Gran Bilbao (exceso de NH_4^+) ni a otras con límites menores, como los vigentes en Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+, NTK, DQO y NO_3^- exceden lo permitido y los valores de algunas determinaciones de DBO_5, Fe, Pb y Cl^- también).

Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Cu, Hg, SO_4^{2-}, CN, fenoles y P.

Evoluciones temporales

Las evoluciones temporales de los parámetros analizados más característicos se presentan en las Figuras 6.11, 6.12 y 6.13.

En la Figura 6.11 se representa la conductividad y los elementos mayoritarios. Las relaciones entre las evoluciones de los parámetros representados son muy evidentes. La conductividad, CO_3H^-, Cl^-, Na^+, K^+ y NH_4^+ presentan evoluciones muy semejantes sin que se lleguen a cruzar las curvas de evolución de los mismos. La relación del Mg^{2+} con estos parámetros es algo menos evidente, en parte debido al factor escala. Por contra, el Ca^{2+} y SO_4^{2-} siguen evoluciones independientes, en ocasiones inversas a los parámetros antes citados.

A partir de estos datos no pueden definirse tendencias temporales en las evoluciones representadas. Los parámetros varían dentro de unos mismos rangos a lo largo del periodo estudiado sin reflejar ningún tipo de evolución característica.

Las concentraciones máximas se dan, en lo que a los iones se refiere, en CO_3H^-. Las diferencias entre CO_3H^- y Cl^- no son muy importantes, a diferencia de lo que pasaba en los vertederos hasta ahora tratados. Como se observa en la gráfica, se cumple siempre la siguiente secuencia: $CO_3H^- > Cl^- > Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Mg^{2+}$. También se cumple siempre $Ca^{2+} > Mg^{2+}$, pero no $K^+ > Ca^{2+}$.

Se aprecia en líneas generales una relación entre las concentraciones medidas y las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de Hondarribia Aeropuerto (la más

cercana al vertedero), aunque no siempre. Los generalizados descensos de concentraciones que se dan en el segundo análisis de Enero de 1994 y en el primero de Abril también de 1994 (precipitaciones previas importantes), así como los aumentos generalizados de concentraciones que se dan en los primeros análisis de Julio, Agosto y Diciembre de 1994 (en fechas sin precipitaciones), son ejemplos claros de esta relación. Se trataría, por tanto, de una relación inversa entre precipitaciones (que provocarían aumentos de caudal) y las concentraciones de los parámetros representados, a excepción de los ya reseñados Ca^{2+} y SO_4^{2-}.

La segunda de las figuras (evolución de los parámetros DQO, conductividad, Cl^-, N-NH_4^+, pH, PO_4^{3-}, S.S. y TOC) tampoco muestra ninguna tendencia de evolución. Sí se aprecia en cambio una homogeneización de los valores que toma la DQO a partir de Septiembre-Octubre de 1992, que coincide con la fecha en la que se deja de verter residuos y se inicia la clausura definitiva del vertedero, aunque también podría estar relacionada con algunos cambios introducidos en la metodología de análisis de este parámetro.

El resto de parámetros representados no sufren ningún cambio destacable en sus evoluciones durante los 6 años considerados. Los rangos de variación son bastante importantes en todos ellos, con aumentos y disminuciones considerables de forma continua, sin una relación clara con las precipitaciones registradas. La dificultad encontrada en interpretar la gráfica de precipitaciones, dada la gran cantidad de datos representada, es de nuevo un problema añadido a la hora de extraer conclusiones.

Salvo en el caso de la conductividad con Cl^-, y en menor medida con N-NH_4^+, no se aprecian semejanzas entre las evoluciones de los parámetros representados.

En la Figura 6.13, (evolución de los metales Al, Fe, Mn, Zn, Cr) no se aprecian relaciones entre las evoluciones de los parámetros ni tampoco tendencias en las evoluciones de cada uno de ellos.

El Fe vuelve a ser el metal más abundante en términos generales, aunque con poca diferencia con respecto al Mn, que incluso presenta un valor máximo superior al valor máximo del Fe. Ninguno de los 2 sobrepasa los 15 mg/l. Los rangos de variación son importantes en ambos, aunque en el caso del Fe las variaciones son más continuas y de mayor magnitud.

El Al y el Cr también varían de forma importante dentro de sus correspondientes márgenes, mientras que el Zn, a excepción de varios picos que aparecen en 1992, mantiene unas concentraciones bastante parecidas.

Las evoluciones de los metales tampoco sufren cambios apreciables como consecuencia de los cambios introducidos en la metodología de muestreo de los mismos, ocurrida en Mayo de 1991.

No hay evidencias de que existan relaciones entre las precipitaciones registradas y las concentraciones de metales medidas. Durante periodos de lluvias aparentemente importantes pueden registrarse tanto aumentos como disminuciones de las concentraciones de estos metales.

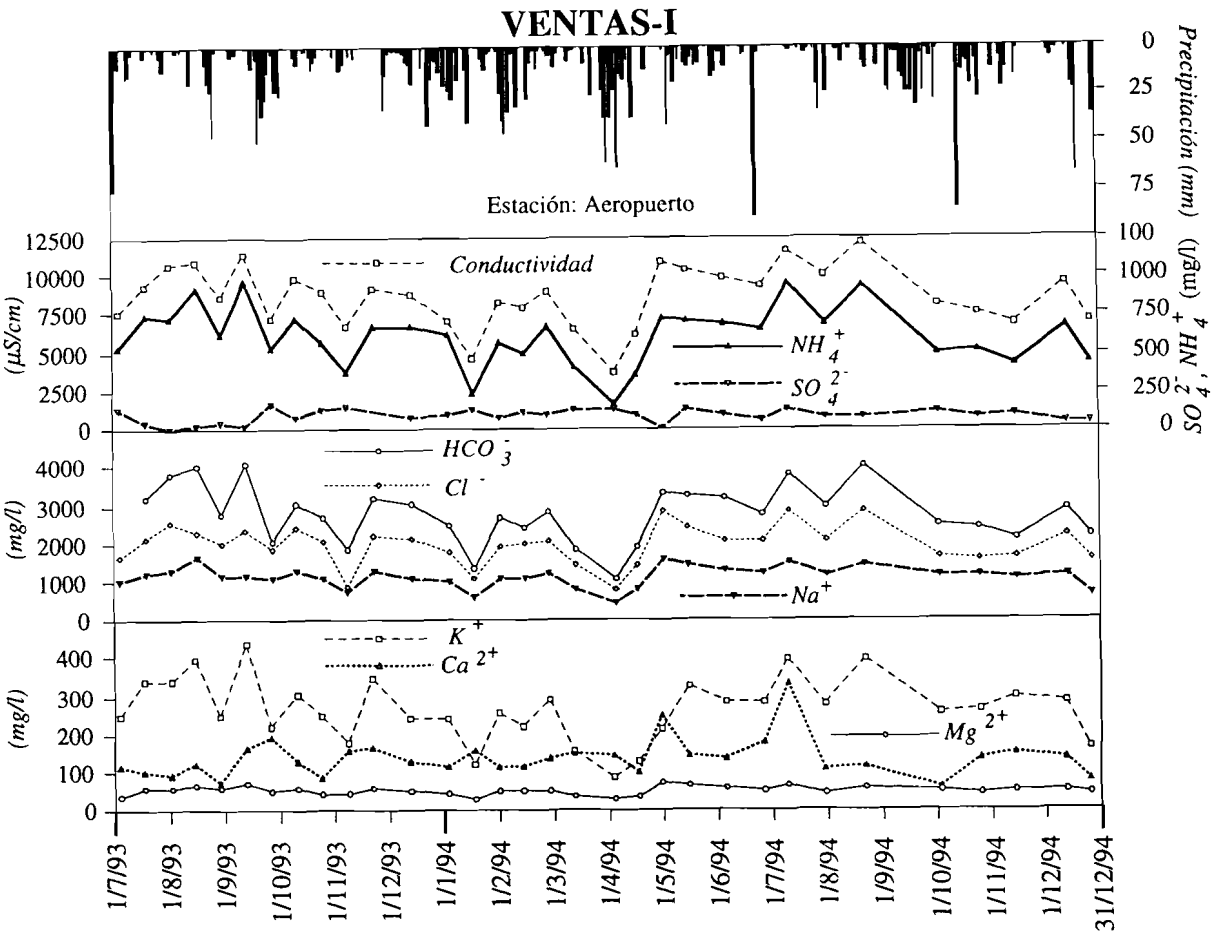


Figura 6.11. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Ventas.

Matriz de correlación

En la Tabla 6.14 se muestra la matriz de correlación de los parámetros más analizados. Destaca el hecho de la existencia de 6 parámetros que no se correlacionan aceptablemente con ningún otro parámetro. Éstos son: Al, Fe, Cr, Cu, Ca^{2+} y NO_3^-. El Mn sólo se correlaciona negativamente con el pH (-0,66), y los S.S. únicamente con la turbidez.

En cambio, queda definido un grupo constituido por bastantes parámetros relacionados de forma importante entre sí. Este grupo está formado por: temperatura, conductividad, Cl^-, NH_4^+, NTK, PO_4^{3-}, C.a.e., SO_4^{2-}, CO_3H^-, Na^+, Mg^{2+}. Los coeficientes de correlación son en ocasiones muy elevados, como en el caso de CO_3H^- con C.a.e., NH_4^+ y conductividad (valores de r de 0,98, 0,97 y 0,97 respectivamente). En cambio, de NH_4^+ con PO_4^{3-} y de SO_4^{2-} con Na^+ y temperatura no se alcanza por muy poco el valor de 0,5. Reseñables son también las correlaciones, negativas, de SO_4^{2-} con el resto de parámetros del grupo. La DQO y K^+ también se correlacionan con alguno de estos parámetros aunque no con todos.

También queda definido otro grupo menor, constituido por los metales Ni, Pb, Cd y por la DBO_5 (debe tenerse en cuenta el elevado número de determinaciones por debajo del límite de detección de los metales). Por otra parte, la DQO se correlaciona con DBO_5, temperatura, pH y con los iones CO_3H^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+}, mientras que la turbidez lo hace, además de con S.S., con NTK, temperatura, CO_3H^-, Na^+ y K^+.

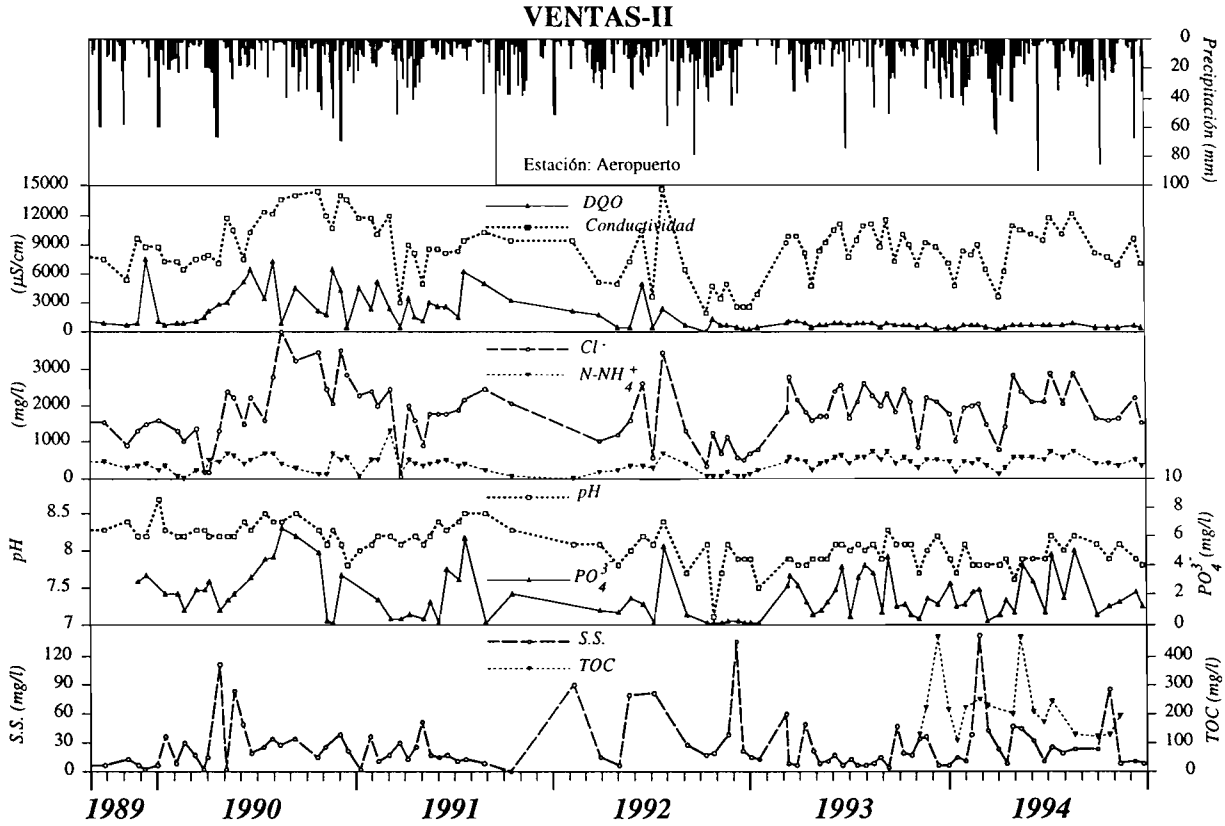


Figura 6.12. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Ventas.

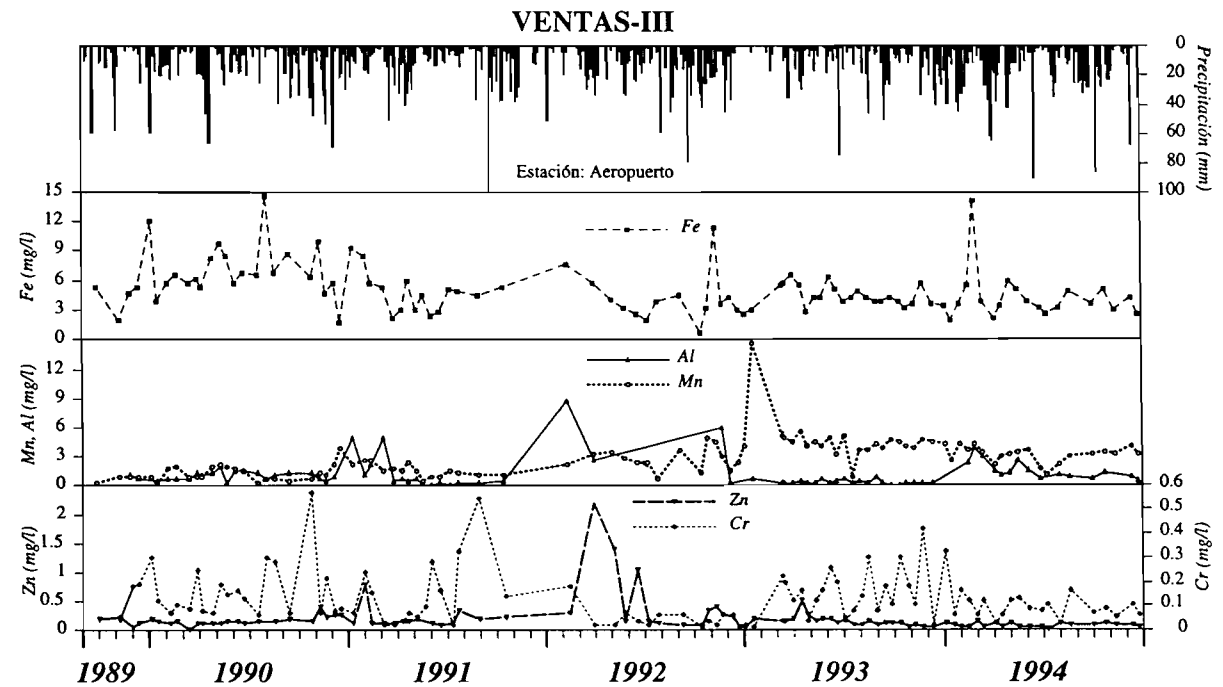


Figura 6.13. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Ventas.

VENTAS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	
1 Temp.	1		33	33		32	32	32		33		22												29	30	30		30		Temp.
2 pH		1								97					97									30		34				pH
3 Cond.	0,77		1			95	97	49	87			68											51	30	35	34		35		Cond.
4 Turb.	-0,52			1	89			45																30	31	31				Turb.
5 S.S.				0,67	1																									S.S.
6 Cl	0,69		0,89			1	95	48	86			66											51	30	35			35		Cl
7 NH4	0,70		0,59			0,54	1	48				67											51	30	35	34		35		NH4
8 NTK	0,68		0,79	-0,54		0,75	0,86	1	45			35											41	29	33	33		33		NTK
9 PO4			0,69			0,62		0,71	1			62											47	30	31	31		31		PO4
10 DQO	0,65	0,50								1	54													30	35	34		35		DQO
11 DBO5										0,60	1																			DBO5
12 C.a.e.	0,58		0,81			0,73	0,62	0,75	0,64			1											35	18	19	19		19	9	C.a.e.
13 Al													1																	Al
14 Fe														1																Fe
15 Mn		-0,66													1															Mn
16 Zn																1			37		38									Zn
17 Cr																	1													Cr
18 Cu																		1												Cu
19 Ni											0,59					0,56			1	37	34									Ni
20 Cd											0,59								0,90	1	38									Cd
21 Pb											0,72					0,59			0,78	0,85	1									Pb
22 NO3																						1								NO3
23 SO4			-0,71			-0,68	-0,68	-0,64	-0,55			-0,72											1	29				34		SO4
24 CO3H	0,68	0,54	0,97	-0,60		0,90	0,97	0,97	0,75	0,91		0,99											-0,61	1	30	30		30		CO3H
25 Na	0,77		0,90	-0,57		0,91	0,84	0,75	0,55	0,50		0,91												0,88	1			35		Na
26 K	0,67	0,56		-0,62				0,50	0,75	0,88		0,92												0,91		1				K
27 Ca																											1			Ca
28 Mg	0,64		0,74			0,65	0,74	0,81	0,60	0,68		0,93											-0,57	0,89	0,70			1		Mg
29 TOC												0,63																	1	TOC

Tabla 6.14. Matriz de correlación. Vertedero de Ventas.

6.5.6. VERTEDERO DE URTETA

En el vertedero de Urteta se han tomado en conjunto 91 muestras. Las 4 primeras fueron analizadas en los laboratorios LABEIN y el resto en los laboratorios de Fraisoro. La primera de ellas se recogió el día 28-9-1989, pero no es hasta Julio de 1990 cuando se inicia el muestreo periódico, normalmente quincenal, de los lixiviados de este vertedero.

El máximo número de muestras se recogió en 1993, 25 en total. Por contra, en 1989 únicamente se tomaron 2 muestras. Se dispone de información referente a 34 parámetros, la cual se resume en la Tabla 6.15. El número de determinaciones consideradas es de 1.947. De ellas 307 (15,7%) se encuentran por debajo de los límites de detección. Los parámetros analizados con mayor frecuencia son la conductividad, DQO, Fe y Mn (N= 91). Los menos analizados son P, NO_2^- y TOC con 4, 9 y 17 determinaciones.

De estos parámetros, 15 siguen modelos de distribución normal: los iones principales (NH_4^+, CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), así como la temperatura, pH, conductividad, NTK, C.a.e., TOC y Mn. Otros 10 presentan distribuciones lognormales (turbidez, S.S., DQO, DBO_5, Fe, Al, Zn, Pb, Cu y PO_4^{3-}). Los parámetros que no se ajustan a ninguna de estas 2 distribuciones son Ni, Cr y NO_3^-.

Los valores que toman los parámetros son considerables pero no tan elevados como en los 2 vertederos anteriores (Petritegi y Ventas). La conductividad, CO_3H^- y Cl^- toman valores medios de 3.620 µS/cm, 1.634 y 592 mg/l. Otros parámetros también alcanzan concentraciones apreciables (S.S., NH_4^+ y NTK).

La clasificación de cationes según sus concentraciones difiere con respecto a la de los vertederos anteriores. El Na^+ y NH_4^+ son los 2 más abundantes, pero en este caso las concentraciones de Ca^{2+} sobrepasan a las de K^+. La secuencia de aniones es idéntica a la de San Marcos, Petritegi y Ventas. Las concentraciones de CO_3H^- triplican a las de Cl^-. Con valores muy inferiores, del orden de 10 veces menos, se encuentran SO_4^{2-} y NO_3^-. Los PO_4^{3-} y NO_2^- son minoritarios.

	URTETA	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	Temp.	35	-	17,1	17,5	2,01	11,7	7,4	3,3	13,2	15,4	18,7	20,6		normal
2	pH	89	-	7,31	7,30	0,27	3,6	1,1	0,4	6,8	7,1	7,5	7,9	5,5-9,5	normal
3	Cond.	91	-	3.620	3.640	1.070	29,6	5.804	1.650	1.346	2.750	4.400	7.150		normal
4	Turbidez	86	-	58,2	41	64	110	422	39,3	8	26	65,3	430		log
5	S.S.	89	-	183	57	313	171	1.862	162	8	32	194	1.870	80	log
6	NH_4^+	87	-	168	182	90,7	54	388,2	152	0,79	87,3	239	389	15	normal
7	NTK	58	-	189	199	66,3	35,1	336	65	11	165	230	347		normal
8	DQO	91	-	609	465	437	71,7	2.107	584	33	263	847	2.140	160	log
9	DBO_5	55	6 (10,9)	174	64	244	140	-	175	< 20	30	205	920	40	log
10	C.a.e.	69	-	120	113	52,2	43,7	280,4	46,5	16,6	91	137,5	297		normal
11	TOC	17	-	93,7	83	48,2	51,5	181	60,5	35	53,5	114	216		normal
12	Fe	91	1 (1,1)	13,4	8,26	13,3	99,8	-	13,6	< 0,1	4,6	18,2	54	2	log
13	Mn	91	-	3,59	3,6	1,75	48,9	10,41	1,87	0,69	2,58	4,45	11,1	2	normal
14	Al	70	2 (2,9)	1,37	0,78	1,80	131	-	1	< 0,2	0,4	1,4	9,2	1	log
15	Zn	90	5 (5,6)	0,52	0,34	0,68	133	-	0,48	< 0,02	0,16	0,64	4,05	3	log
16	Pb	39	14 (35,9)	0,15	0,05	0,32	209	-	-	< 0,02	-	0,08	1,48	0,2	log
17	Ni	37	21 (56,8)	0,097	-	0,15	153	-	-	< 0,02	-	0,11	0,54	2	
18	Cr	89	34 (38,2)	0,054	0,02	0,080	147	-	-	< 0,01	-	0,06	0,48	2	
19	Cu	37	14 (37,8)	0,032	0,02	0,022	70	-	-	< 0,02	-	0,04	0,1	0,2	log
20	Cd	41	34 (82,9)	0,026	-	0,032	123	-	-	< 0,02	-	-	0,14	0,1	-
21	Hg	48	47 (97,9)	-	-	-	-	-	-	< 0,5	-	-	18	0,05	-
22	Na^+	33	-	411	427	141	34,2	650	121	102	347	468	752		normal
23	K^+	32	-	129	132	37,9	29,3	167	33,5	25	117	151	192		normal
24	Ca^{2+}	33	-	146	147	59,2	40,6	282,3	71	11,7	112	183	294		normal
25	Mg^{2+}	33	-	48,4	52,6	13,6	28,1	58,6	15,2	11	41,1	56,3	69,6		normal
26	CO_3H^-	28	-	1.634	1.713	288	17,6	1.210	435	1.070	1.403	1.838	2.280		normal
27	Cl^-	86	-	592	616	246	41,5	1.010	425,5	200	361	786,5	1.210	2.000	normal
28	SO_4^{2-}	52	2 (3,8)	58,1	50,4	29,5	50,7	-	34,3	< 10	36,9	71,2	140	2.000	normal
29	NO_3^-	53	17 (32,1)	34,6	32,4	31,8	92	-	-	< 0,1	-	61,5	109		
30	PO_4^{3-}	79	10 (12,7)	0,17	0,12	0,16	93,1	-	0,18	< 0,03	0,06	0,24	0,71		log
31	NO_2^-	9	-	2,04	1,34	2	98,1	6,022	3,12	0,058	0,33	3,45	6,08		-
32	CN	79	79 (100)	-	-	-	-	-	-	< 0,03	-	-	< 0,03	0,5	-
33	Fenoles	26	21 (80,8)	-	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	0,47	0,5	-
34	P	4	-	1,88	0,85	2,29	122	4,8	3,63	0,5	0,58	4,2	5,3	10	-
	TOTAL	1.947	307 (15,7)												

Tabla 6.15. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Urteta. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (µS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (µg/l).

Cationes: $Na^+ >> NH_4^+ > Ca^{2+} > K^+ >> Mg^{2+}$

Aniones: $CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} > NO_3^- >>> NO_2^- >>> PO_4^{3-}$

Metales: Fe >> Mn >> Al >>> Zn >> Pb > Ni > Cr > Cu = Cd > Hg

Respecto a los metales analizados, el Fe es el más abundante (13,4 y 8,26 mg/l como media y mediana respectivamente), seguido por el Mn, Al y Zn. El resto de metales analizados (Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg) presentan concentraciones muy bajas, con valores medios menores a 0,15 mg/l y muchas determinaciones por debajo del límite de detección. El Pb y Ni son los relativamente más abundantes y Cd y Hg los menos.

Comparando los valores centrales de los parámetros con las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos se observa que se sobrepasan los límites permitidos en los parámetros S.S. (sólo la media, no la mediana), NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe, Mn y Al. Otros parámetros (Zn, Pb y Cd) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias. De igual forma que en todos los casos hasta ahora vistos, no podrían verterse estos lixiviados de forma directa a cauces público sin tratamiento previo.

Sí podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca de Bilbao (todos los parámetros están por debajo de los límites permitidos a excepción de un par de determinaciones de NH_4^+), aunque no a otras con límites menos permisivos, como los vigentes en Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+, NTK, Mn y NO_3^- exceden lo permitido y los valores de algunas determinaciones de S.S., DQO, DBO_5, Fe y Pb también).

Los parámetros temperatura, pH, Ni, Cr, Cu, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, fenoles y P se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos.

Evoluciones temporales

Las evoluciones temporales de los parámetros analizados más característicos se presentan en las Figuras 6.14, 6.15 y 6.16.

En la Figura 6.14 (conductividad y los elementos mayoritarios) pueden observarse las relaciones existentes entre las evoluciones de la mayoría de los parámetros representados. La conductividad, CO_3H^-, Cl^-, Na^+, K^+, Mg^{2+} y NH_4^+ presentan evoluciones muy semejantes aunque en algunas ocasiones se pierde el paralelismo entre sus curvas de evolución. En cambio, el Ca^{2+}, SO_4^{2-} y NO_3^- siguen evoluciones independientes, sin relación con los parámetros anteriores.

Todos los parámetros varían dentro de unos mismos rangos a lo largo del periodo estudiado sin reflejar ningún tipo de evolución temporal característica. Las concentraciones máximas se dan, en lo que a los iones se refiere, en CO_3H^-. Durante el periodo considerado, se cumple siempre la siguiente secuencia: $CO_3H^- > Cl^- > Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Mg^{2+}$. Los iones independientes (Ca^{2+}, SO_4^{2-} y NO_3^-) no guardan ningún tipo de proporcionalidad.

Las relaciones entre las concentraciones medidas y las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de Zumaia no están muy claras. En algunos casos se observa una relación inversa entre precipitaciones (que provocarían aumentos de caudal) y las concentraciones de los parámetros representados, excepto en Ca^{2+}, NO_3^- y SO_4^{2-}. Ejemplos de esta relación serían las bajas concentraciones del primer análisis de Noviembre de 1993 y del segundo de Enero de 1994, coincidiendo con lluvias apreciables. Sin embargo, esta relación inversa se pone en entredicho en otras situaciones, como son los casos de los descensos que suceden a mediados de Marzo de 1994 (no se registran lluvias importantes), y los incrementos que se dan en el primer análisis de Octubre de 1994 (tras lluvias no despreciables).

La segunda de las figuras (6 años de evolución de los parámetros DQO, conductividad, Cl^-, $N\text{-}NH_4^+$, pH, PO_4^{3-}, S.S. y TOC) permite realizar una serie de observaciones de interés. Varios de los parámetros representados (conductividad, Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$) presentan, en líneas generales, un incremento progresivo de sus concentraciones a lo largo del periodo analizado. Aún con las limitaciones propias del corto periodo considerado, podría hablarse de tendencia en la evolución de estos parámetros. La variabilidad de los valores de estos parámetros es también bastante limitada.

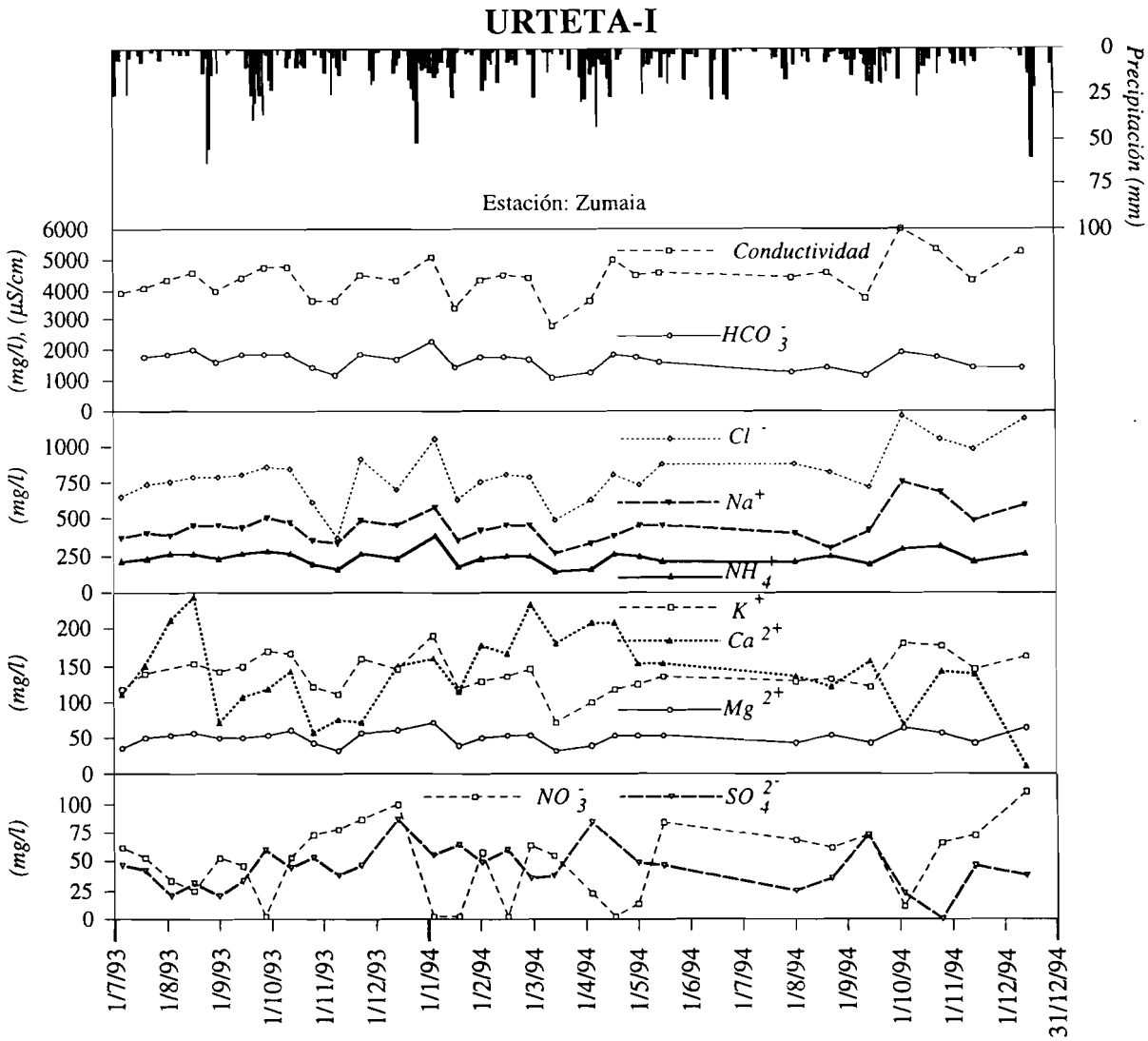


Figura 6.14. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Urteta.

También se aprecia una cierta homogeneización de los valores que toma la DQO a partir de Mayo de 1993 así como un incremento medio de los valores de pH a partir de 1992, aunque en este caso el hecho de tratarse de datos analizados en laboratorio y no en el momento del muestreo resta significancia a esta observación.

El resto de parámetros representados (PO_4^{3-}, S.S. y TOC) no sufren ningún cambio destacable en sus evoluciones durante los 6 años considerados. Los rangos de variación son bastante importantes, especialmente en el caso de S.S.. La complejidad de las gráficas impide establecer posibles relaciones entre las precipitaciones registradas y las concentraciones de los distintos parámetros.

Salvo en el caso de la conductividad con Cl^- y con $N\text{-}NH_4^+$, no se aprecian semejanzas entre las evoluciones de los parámetros representados. Tampoco parecen estar relacionadas las concentraciones de los parámetros con las precipitaciones registradas en la estación más cercana.

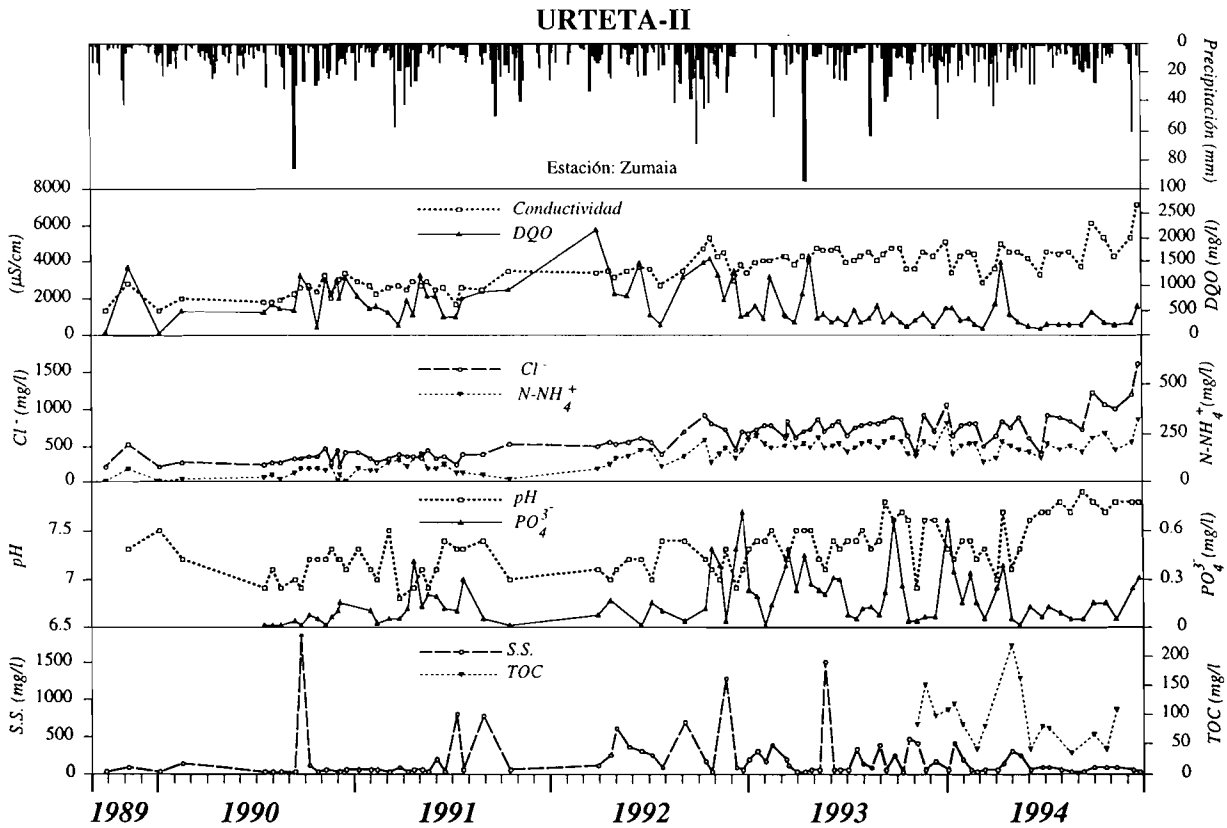


Figura 6.15. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Urteta.

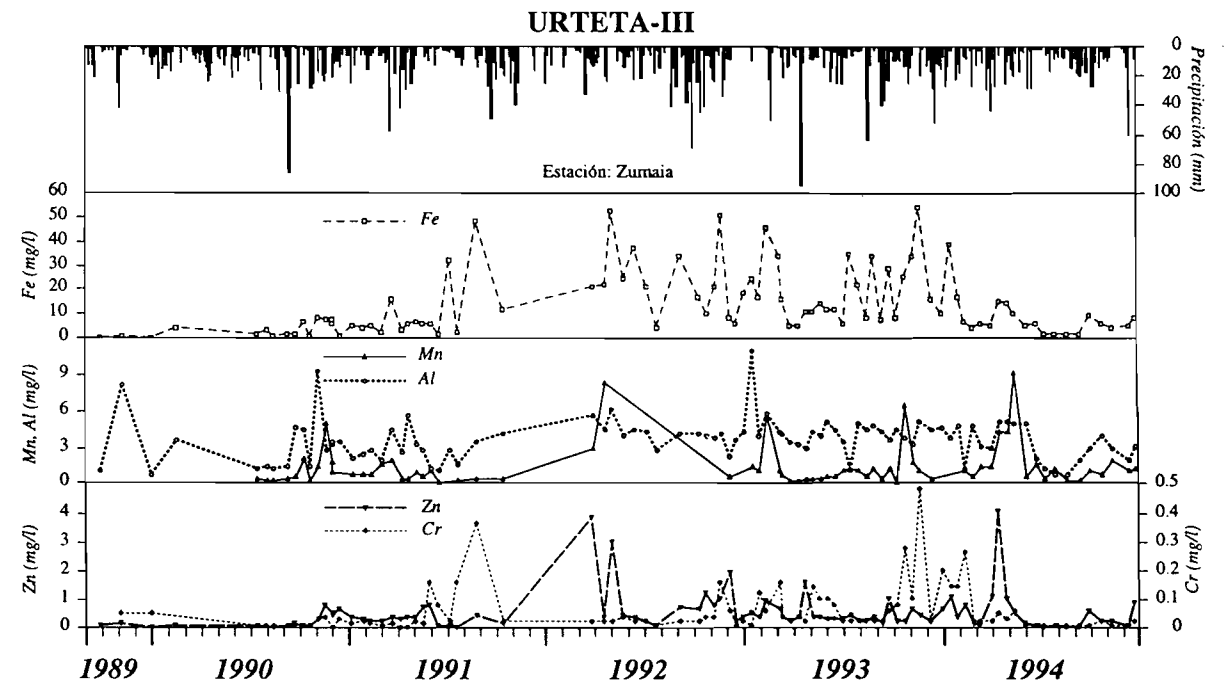


Figura 6.16. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Urteta.

En la Figura 6.16 se aprecia la importante variabilidad que se da en los valores que adquieren los metales representados. No se aprecian relaciones entre sus evoluciones ni tampoco tendencias en las evoluciones de cada uno de ellos. Tampoco hay evidencias de que existan relaciones entre las precipitaciones registradas y las concentraciones de los metales.

El Fe es el metal más abundante, sobrepasando en ocasiones los 50 mg/l. Le siguen el Mn y Al, que no alcanzan en ningún caso los 12 mg/l, y el Zn y Cr, siempre por debajo de 5 mg/l. Todos ellos varían de forma importante dentro de sus correspondientes márgenes.

Las evoluciones de los metales Al y Mn no sufren cambios apreciables como consecuencia de los cambios introducidos en la metodología de muestreo de los mismos, ocurrida en Mayo de 1991. Sin embargo, el Fe y Cr, y en menor medida el Zn, sufren a partir de más o menos esa fecha un cambio apreciable en la forma de su curva de evolución: la variabilidad es mayor y aparecen picos importantes de forma frecuente. A pesar de ello, no puede asegurarse que esos cambios sean consecuencia directa de la introducción de la nueva técnica analítica.

Matriz de correlación

En la Tabla 6.16 se muestra la matriz de correlación de los parámetros más analizados. Los mayores coeficientes de correlación se dan entre los parámetros del siguiente grupo: conductividad, Cl^-, NH_4^+, NTK, CO_3H^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+}. Estos parámetros se encuentran íntimamente relacionados y entre ellos pueden alcanzarse coeficientes de correlación de 0,94 (conductividad con Cl^- y NTK con Mg^{2+}) o 0,92 (Cl^-con Na^+ y conductividad con Na^+).

También queda definido otro grupo formado por DQO, DBO_5 y C.a.e.. La DQO y DBO_5 también se relacionan aceptablemente con Zn y SO_4^{2-}. Los metales Ni, Cd y Pb se relacionan también entre sí (debe tenerse en cuenta su elevado número de determinaciones por debajo del límite de detección). El Al, Cr y Ca^{2+} no se relacionan aceptablemente con ningún otro parámetro, y 2 metales sólo se correlacionan con un parámetro (Fe con Cu y Al con turbidez). La turbidez también se correlaciona con S.S. También son a destacar las correlaciones negativas de SO_4^{2-} con Na^+ y K^+ (-0,53 y -0,54 respectivamente).

URTETA	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	
1 Temp.	1										29					35							29							*Temp.*
2 pH		1	*89*			*84*																								*pH*
3 Cond.		0,50	1			*86*	*87*	*58*																*28*	*33*	*32*		*33*		*Cond.*
4 Turb.				1	*84*								*69*																*17*	*Turb.*
5 S.S.				0,50	1													*37*												*S.S.*
6 Cl		*0,61*	*0,94*			1	*86*	*54*																*28*	*33*	*32*		*33*		*Cl*
7 NH4			*0,85*			*0,87*	1	*55*																*28*	*33*	*32*		*33*		*NH4*
8 NTK			*0,82*			*0,75*	*0,81*	1				*43*												*28*	*33*	*32*		*33*		*NTK*
9 PO4									1													*49*		*28*						*PO4*
10 DQO										1	*55*	*69*				*90*						*53*	*52*							*DQO*
11 DBO5	-0,55									*0,83*	1	*42*				*55*							*45*							*DBO5*
12 C.a.e.								*0,63*		0,55	*0,66*	1										*40*		*19*						*C.a.e.*
13 Al				0,57									1																*14*	*Al*
14 Fe														1				*37*												*Fe*
15 Mn															1															*Mn*
16 Zn	-0,53									0,57	*0,67*					1													*17*	*Zn*
17 Cr																	1													*Cr*
18 Cu					0,59									0,52				1											*17*	*Cu*
19 Ni																				*37*	*34*									*Ni*
20 Cd																			*0,54*	1	*38*									*Cd*
21 Pb																			*0,74*	*0,81*	1									*Pb*
22 NO3									-0,50			-0,52										1									*NO3*
23 SO4	-0,51									0,55	0,58												1		*31*	*30*				*SO4*
24 CO3H			*0,69*			*0,51*	*0,87*	*0,85*	*0,51*			*0,61*												1	*28*	*27*		*28*		*CO3H*
25 Na			*0,92*			*0,92*	*0,87*	*0,76*															-0,53	0,57	1	*32*		*33*		*Na*
26 K			*0,89*			*0,86*	*0,89*	*0,76*															-0,54	*0,76*	*0,86*	1		*32*		*K*
27 Ca																											1			*Ca*
28 Mg			*0,83*			*0,80*	*0,81*	*0,94*																*0,80*	*0,79*	*0,81*		1		*Mg*
29 TOC				*0,60*									*0,66*		*0,65*			0,51											1	*TOC*

Tabla 6.16. Matriz de correlación. Vertedero de Urteta.

6.5.7. VERTEDERO DE SASIETA

Los lixiviados generados en el vertedero de Sasieta se han muestreado desde el inicio de la actividad del mismo, en Abril de 1991. Durante ese primer año de actividad sólo se recogieron 8 muestras. Por diversos problemas, entre Julio de 1991 y Abril de 1992 tuvo que interrumpirse el muestreo de lixiviados. El año que cuenta con mayor número de muestras es 1993, con 25. En total se han recogido 67 muestras, que han sido analizadas en su totalidad en el laboratorio de Fraisoro.

Como ya se ha comentado en el apartado 6.2, el muestreo de lixiviados en este vertedero tiene la peculiaridad de que se ha realizado en el depósito de lixiviados existente, por lo que las muestras no son representativas del quimismo de los lixiviados generados en el instante del muestreo, sino que reflejan el de la mezcla de los lixiviados generados durante una serie de días (normalmente menos de una semana, que es el tiempo medio que se tardaba en proceder al vaciado del depósito y traslado de los lixiviados a depuradora).

En total se han considerado como válidas 1.564 determinaciones repartidas entre 34 parámetros diferentes (Tabla 6.17). De éstas, 300 (19,1%) estaban por debajo de los límites de detección de los aparatos utilizados para su análisis. De 12 de los 34 parámetros se dispone de más de 60 determinaciones. En cambio, de otros 3 (TOC, NO_2^- y CO_3^{2-}) sólo se cuenta con 14, 7 y 2 determinaciones respectivamente.

El modelo de distribución normal es el más frecuente. En concreto, 13 parámetros siguen este tipo de distribución: los iones principales (CO_3H^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), así como la temperatura, pH, turbidez, NTK, C.a.e., TOC, Fe y PO_4^{3-}. Otros 8 presentan distribuciones lognormales (S.S., DBO_5, Al, Zn, Ni, Cr, SO_4^{2-} y NO_3^-. En esta ocasión hay bastantes parámetros que no se ajustan a ninguna de estas 2 distribuciones (conductividad, NH_4^+, DQO, Mn, Pb, Ni, Cr, Cu y Cl^-.

Las concentraciones de los parámetros son bastante altas en muchos de los casos. Algunos ejemplos de esto son los valores medios de la conductividad y CO_3H^- (6.575 µS/cm y 3.850 mg/l respectivamente). Otros parámetros también alcanzan concentraciones apreciables (Na^+, Cl^-, etc.).

La clasificación de cationes según sus concentraciones presenta una peculiaridad con respecto a la de los vertederos anteriores. En este caso el Ca^{2+} es el menos abundante de todos. No así la secuencia de aniones, que es similar a la de casos anteriores. Las concentraciones de CO_3H^- casi cuadriplican a las de Cl^-. Con valores muy inferiores, del orden de 40 veces menos, se encuentran SO_4^{2-} y NO_3^- (21,2 y 10,6 mg/l como valores medios) Los PO_4^{3-} y NO son minoritarios, siempre por debajo de 1 mg/l.

Cationes: $Na^+ > NH_4^+ > K^+ >> Mg^{2+} > Ca^y$
Aniones: $CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} > NO_3^- > PO_4^{3-} = NO_2^-$
Metales: Fe >> Mn >>> Al >> Pb > Zn > Ni > Cr > Cd > Cu > Hg

La secuencia de metales presenta novedades con respecto a la de vertederos ya tratados. El Fe es el más abundante (13,2 y 10,6 mg/l como media y mediana respectivamente), seguido por el Mn y Al. Sin embargo, el Pb aparece en mayor proporción que el Zn. El resto de

	SASIETA	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	Temp.	35	-	16,7	17,5	3,45	20,6	11,6	6,5	11,2	13,1	19,6	22,8		normal
2	pH	65	-	7,62	7,50	0,44	5,7	2	0,6	6,7	7,3	7,9	8,7	5,5-9,5	normal
3	Cond.	67	-	6.575	7.490	2.783	42,3	12.698	3.020	702	5.290	8.310	13.400		
4	Turbidez	66	-	54,6	48	37,3	68,4	197,9	41,8	2,1	29,3	71	200		normal
5	S.S.	64	1 (1,6)	50,9	29	56,1	110	-	42	< 5	20,3	62,3	308	80	log
6	NH_4^+	64	-	467	550	229	49	837,95	274	0,05	348	622	838	15	
7	NTK	51	-	474	492	200	42,3	1.083,5	205	16,5	360	565	1.100		normal
8	DQO	66	1 (1,5)	625	518	374	59,9	-	373	< 15	434	806	1.740	160	
9	DBO_5	48	3 (6,3)	129	80	134	104	-	87,3	< 10	50,3	137,5	550	40	log
10	C.a.e.	54	-	309	321	170	55,1	743,2	169	6,8	234	403	750		normal
11	TOC	14	-	190	160	104	54,9	340	131	60	113	244	400		normal
12	Fe	66	-	13,2	10,6	12,2	92,5	67,59	12,5	0,81	4,6	17,1	68,4	2	normal
13	Mn	66	-	2,74	2,35	2,52	91,9	14,13	1,57	0,07	1,5	3,07	14,2	2	
14	Al	54	7 (13)	0,55	0,42	0,46	83	-	0,49	< 0,2	0,21	0,7	2,4	1	log
15	Zn	66	7 (10,6)	0,15	0,085	0,15	104	-	0,17	< 0,02	0,04	0,21	0,92	3	log
16	Pb	35	23 (65,7)	0,18	-	0,43	241	-	-	< 0,02	-	0,06	1,84	0,2	
17	Ni	35	15 (42,9)	0,13	0,06	0,20	159	-	-	< 0,02	-	0,14	0,94	2	log
18	Cr	66	12 (18,2)	0,081	0,06	0,07	81,4	-	0,08	< 0,02	0,04	0,12	0,28	2	log
19	Cu	36	20 (55,6)	0,024	-	0,01	51,8	-	-	< 0,02	-	0,038	0,06	0,2	
20	Cd	36	31 (86,1)	0,031	-	0,04	137	-	-	< 0,02	-	-	0,18	0,1	-
21	Hg	47	45 (95,7)	-	-	-	-	-	-	< 0,5	-	-	16	0,05	-
22	Na^+	30	-	843	841	127	15,1	577	186	533	748	934	1.110		normal
23	K^+	29	-	295	301	45,8	15,5	178	64	202	257	321	380		normal
24	Ca^{2+}	28	-	90,7	101	38,2	42,1	146	68	23	52,5	120,5	169		normal
25	Mg^{2+}	30	-	123	119	20,3	16,4	97,1	20	85,9	112	132	183		normal
26	CO_3H^-	29	-	3.850	3.990	566	14,7	2.570	800	2.150	3.455	4.255	4.720		normal
27	Cl^-	64	-	1.046	1.075	772	73,8	4.986,2	624	23,8	659	1.283	5.010	2.000	
28	SO_4^{2-}	48	21 (43,8)	21,2	10	25,9	122	-	-	< 0,8	-	32,2	121	2.000	log
29	NO_3^-	49	31 (63,3)	10,6	-	13,9	131	-	-	< 0,8	-	10,95	61,5		log
30	PO_4^{3-}	63	4 (6,3)	0,31	0,28	0,22	71,6	-	0,34	< 0,03	0,14	0,48	0,87		normal
31	NO_2^-	7	-	0,38	0,16	0,36	94,7	0,938	0,609	0,057	0,121	0,73	0,995		-
32	CN	59	59 (100)	-	-	-	-	-	-	< 0,03	-	-	< 0,03	0,5	-
33	Fenoles	25	20 (80)	-	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	0,18	0,5	-
34	CO_3^{2-}	2	-	32,6	32,6	18,2	56	25,8	25,8	19,7	19,7	45,5	45,5		-
	TOTAL	1.564	300 (19,1)												

Tabla 6.17. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Sasieta. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (µS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (µg/l).

metales analizados (Ni, Cr, Cu, Cd, Hg) presentan concentraciones muy bajas, muchas determinaciones por debajo del límite de determinación y valores medios menores a 0,18 mg/l. Entre éstos, el Ni es el relativamente más abundante y Cu y Hg los menos.

Los parámetros que superan los límites permitidos en vertidos a cauces públicos son (valores centrales): NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe y Mn. Otros parámetros (S.S., Al, Pb, Cd y Cl^-) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias. Como en todos los casos hasta ahora vistos, sin tratamiento previo no podrían verterse estos lixiviados de forma directa a cauces públicos.

Tampoco podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca del Gran Bilbao (exceso de NH_4^+) ni a otras con límites menos permisivos, como los vigentes en Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+, NTK, Fe y Mn exceden lo permitido y los valores de algunas determinaciones de DQO, Pb y Cl^- también). Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Cu, Hg, SO_4^{2-}, CN y fenoles.

Evoluciones temporales

En las Figuras 6.17, 6.18 y 6.19 se presentan las evoluciones temporales de los principales parámetros considerados.

En la primera de ellas se muestran la conductividad y los elementos mayoritarios. Con la información disponible no puede deducirse ningún tipo de tendencia temporal en la evolución de estos parámetros. En general, los valores se mantiene en cada caso dentro de un mismo rango a lo largo de todo el periodo estudiado.

Se aprecia, sin embargo, una relación bastante clara entre las evoluciones de la conductividad y la de los elementos representados, salvo en el caso del SO_4^{2-} y Ca^{2+} que siguen evoluciones independientes. Esta relación se traduce en líneas de evolución más o menos paralelas que en ocasiones sufren ciertas distorsiones.

Por otra parte, destacan las importantes concentraciones existentes de CO_3H^- y de Cl^-. Durante el periodo considerado, se cumple siempre la siguiente secuencia: $CO_3H^- > Cl^- > Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Mg^{2+}$. Los iones independientes (Ca^{2+} y SO_4^{2-}), que son los menos abundantes, no mantienen reglas de este tipo.

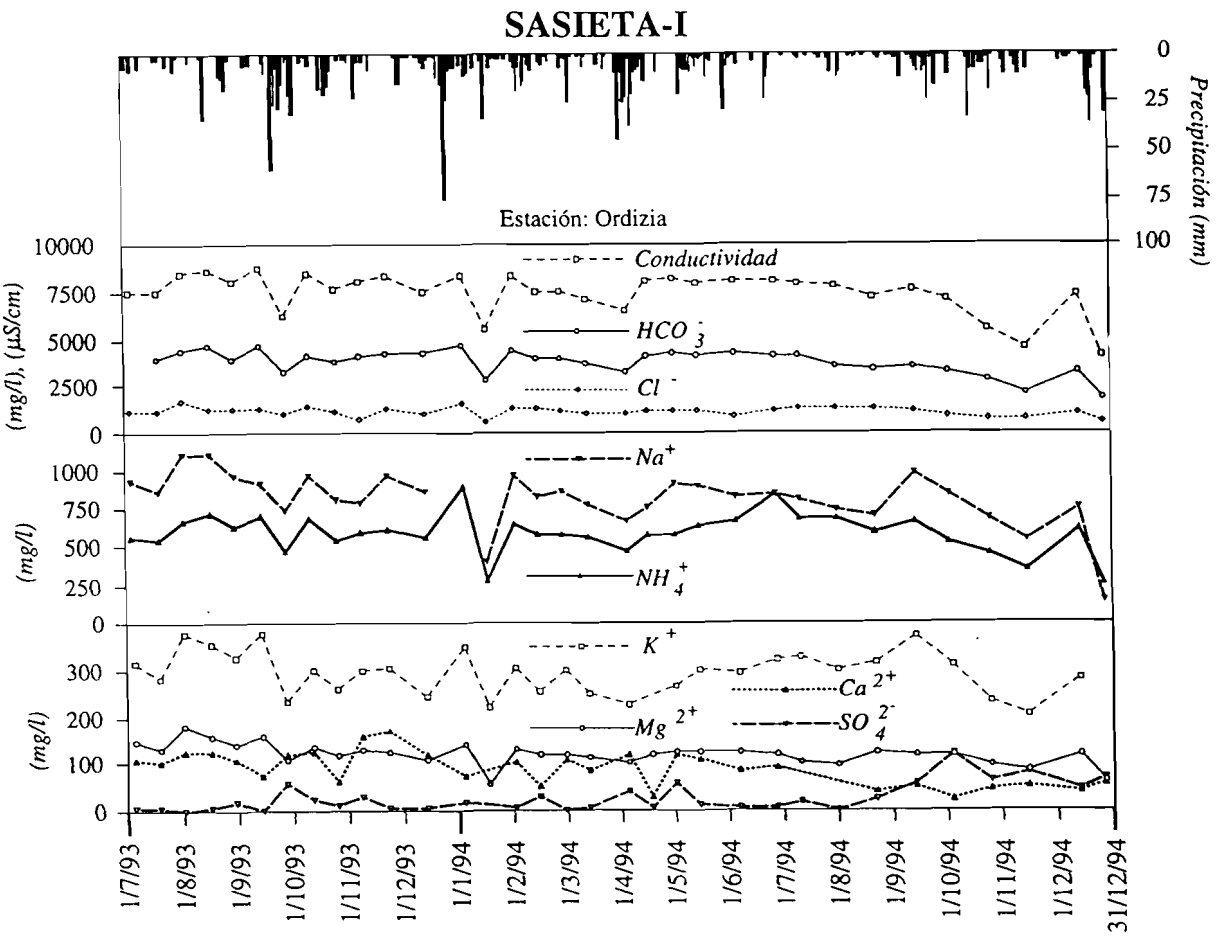


Figura 6.17. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de Sasieta.

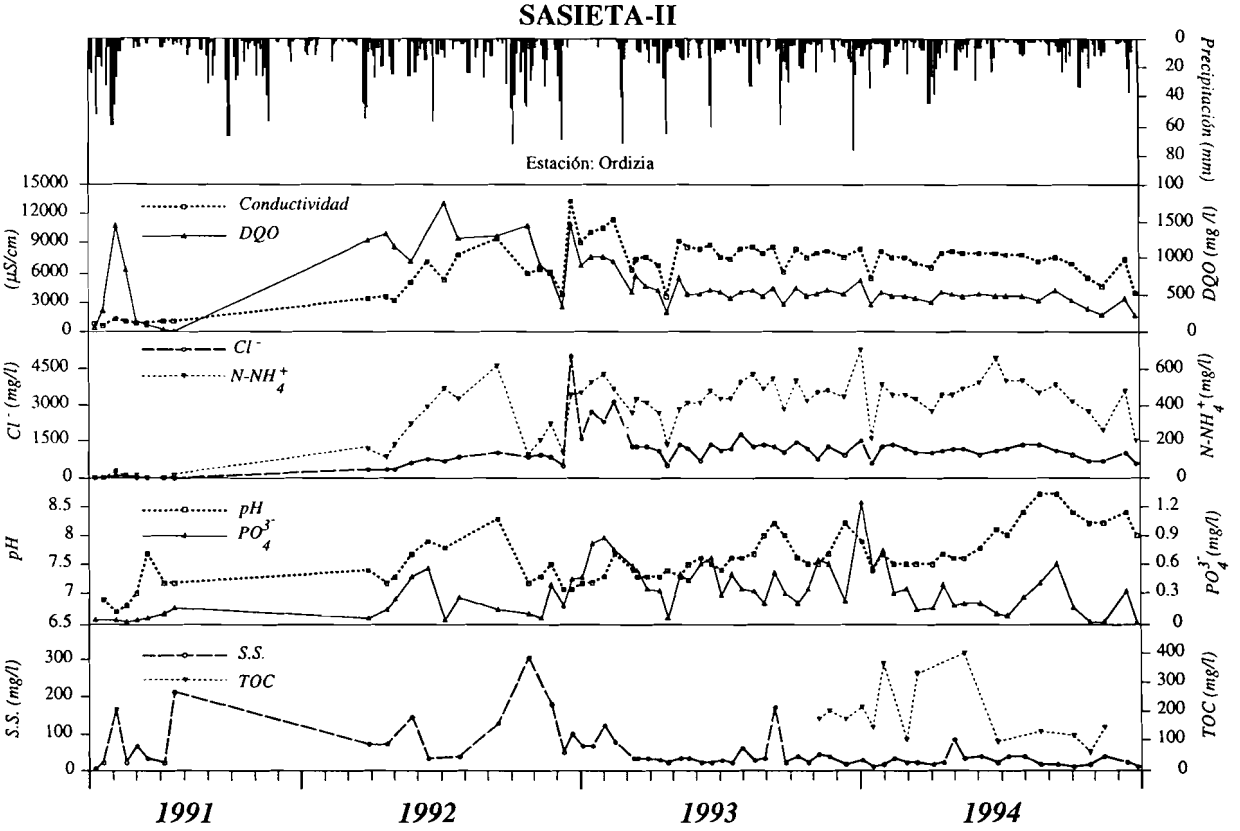


Figura 6.18. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Sasieta.

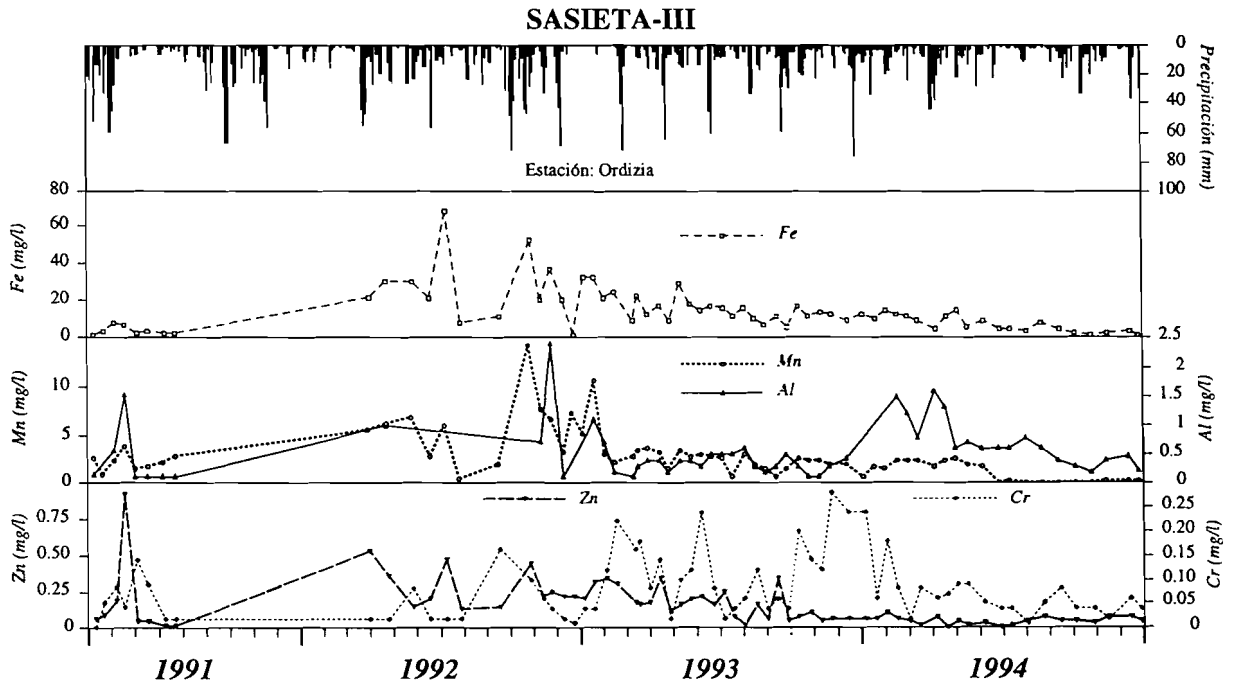


Figura 6.19. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Sasieta.

La relación entre las precipitaciones previas al momento del muestreo y las concentraciones medidas son en este caso bastante claras. En general se aprecia una relación inversa entre las concentraciones de los parámetros y las precipitaciones. Ejemplos de esta relación son los casos de los descensos generalizados que ocurren en los segundos análisis de Septiembre de 1993 y de Enero de 1994, y en el primero de Abril de 1994 (se registran lluvias importantes). También en los aumentos producidos en el primer análisis de Diciembre de 1994 (coincidentes con un periodo sin apenas lluvias).

La Figura 6.18 (evolución de los parámetros DQO, conductividad, Cl^-, $N\text{-}NH_4^+$, pH, PO_4^{3-}, S.S. y TOC a lo largo de casi 4 años) permite poner de manifiesto una serie de aspectos destacables. Se aprecia una cierta homogeneización de los valores que toma la DQO a partir de Abril-Mayo de 1993. El pH, en cambio, parece experimentar un aumento continuado a partir de Diciembre de 1992 (pH analizados en laboratorio). Por otra parte, PO_4^{3-}, S.S. y TOC no sufren ningún cambio destacable en sus evoluciones durante el periodo considerado.

Las evoluciones de la conductividad y $N\text{-}NH_4^+$ presentan ciertas semejanzas entre sí, y en menor medida con la del Cl^-. Inicialmente los 3 parámetros presentan valores muy bajos (periodos en los que se inicia la actividad del vertedero), para pasar a alcanzar con el tiempo valores considerablemente superiores.

También se aprecian relaciones más o menos claras entre las precipitaciones registradas y las concentraciones de algunos de los parámetros (DQO, conductividad, Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$). Ejemplos de esta relación son los descensos que se registran en el primer análisis de Diciembre de 1992 y en el segundo de Enero de 1994.

En la Figura 6.19, (evolución de los metales Al, Fe, Mn, Zn, Cr) se aprecia la importante variabilidad que se da en los valores que adquieren estos parámetros. No se aprecian relaciones entre las evoluciones de los parámetros, salvo algunos picos coincidentes, ni tampoco tendencias en las evoluciones de cada uno de ellos.

El Fe vuelve a ser el metal más abundante, sobrepasando en ocasiones los 60 mg/l. Le siguen el Mn y Al, que no alcanzan en ningún caso los 15 y los 2,5 mg/l respectivamente. El Zn y Cr presentan concentraciones muy inferiores. Todos ellos varían de forma importante dentro de sus correspondientes márgenes sin que se ponga de manifiesto una relación de las continuas variaciones con las precipitaciones previas al muestreo.

Salvo las 2 o 3 primeras muestras, las demás se han analizado previa digestión de las mismas. No hay, por tanto, datos suficientes como para poder apreciar posibles cambios en los valores medidos como consecuencia de los cambios introducidos en la metodología de análisis.

Matriz de correlación

La matriz de correlación de los parámetros más analizados se muestra en la Tabla 6.18. En este caso llama la atención la gran cantidad de correlaciones aceptables que se dan entre gran parte de los parámetros. Coeficientes de correlación importantes se dan entre los parámetros de los siguientes grupos:

- Conductividad, Cl^-, NH_4^+, NTK, C.a.e., CO_3H^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+}. Los mayores coeficientes de correlación se dan entre parámetros de este grupo: 0,93 (conductividad con CO_3H^-) y 0,90 (conductividad con NTK y con NH_4^+). Los PO_4^{3-} también se correlacionan aceptablemente con los 4 primeros componentes de este grupo, pero no con los demás.

- Fe, Mn, Zn con Ni y Cd por una parte, y con DQO y DBO_5 por otra. Los metales Ni, Cd y Pb también se correlacionan entre sí (debe tenerse en cuenta sus determinaciones por debajo del límite de detección). El Cu lo hace con Zn, Ni y Cd, mientras que Al y Cr no se correlacionan de forma aceptable con ningún parámetro.

También son a destacar las correlaciones existentes entre SO_4^{2-} y NO_3^- (0,51) y las de éstos con CO_3H^- (-0,70 y -0,55 respectivamente). El Fe y Mn también se relacionan con S.S. y turbidez, pero éstos no se relacionan entre sí. El pH, por su parte sólo se relaciona con Mn (-0,50), Ca (-0,56) y NH_4^+ (0,57).

SASIETA	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	
1	Temp.	1																								28				Temp.
2	pH		1				62								64												28			pH
3	Cond.			1			64	64	51	63			54											29	28	29		30		Cond.
4	Turb.				1		63				65	47		65	65									29	28		28	30		Turb.
5	S.S.					1					63	45		64	64															S.S.
6	Cl			0,83	0,51		1	64	48	63			51											29	28	29		30		Cl
7	NH4		0,57	0,90			0,62	1	48	63		45	51											29	28	29		30		NH4
8	NTK			0,90			0,88	0,85	1	48			39											28	27	28		29		NTK
9	PO4			0,64			0,56	0,51	0,69	1																				PO4
10	DQO				0,70	0,50					1	47	53	65	65	65								29	28	29		30		DQO
11	DBO5				0,54	0,64		-0,52			0,77	1			47	47						39						20		DBO5
12	C.a.e.			0,73			0,51	0,66	0,62		0,55		1								23			17	16	17	18	18	9	C.a.e.
13	Al													1																Al
14	Fe				0,69	0,51					0,66			1	66	66			35	36				29	28			30		Fe
15	Mn		-0,50		0,77	0,60					0,60	0,65		0,72	1	66			35	36				29			28		14	Mn
16	Zn										0,60	0,65		0,52	0,54	1		36	35	36	35									Zn
17	Cr																1													Cr
18	Cu															0,51		1	35	36										Cu
19	Ni													0,50	0,52	0,56		0,60	1	35	34									Ni
20	Cd													0,55	0,50	0,63		0,51	0,92	1	35									Cd
21	Pb												0,52			0,57			0,83	0,79	1									Pb
22	NO3											0,57										1	48	29						NO3
23	SO4																					0,51	1	29						SO4
24	CO3H			0,93	0,79		0,56	0,73	0,79		0,89		0,77	0,69	0,53							-0,55	-0,70	1	27	28	27	29		CO3H
25	Na			0,78	0,54		0,64	0,63	0,63		0,82		0,62	0,57										0,78	1	27		28		Na
26	K	0,61		0,74			0,61	0,77	0,73		0,72		0,57											0,61	0,74	1		29		K
27	Ca		-0,56		0,60								0,55		0,56									0,51			1			Ca
28	Mg			0,68	0,52		0,63	0,50	0,50		0,67	0,53	0,53	0,65										0,71	0,81	0,73		1		Mg
29	TOC												0,50		0,51														1	TOC

Tabla 6.18. Matriz de correlación. Vertedero de Sasieta.

6.5.8. VERTEDERO DE SAN BLAS

De los siete vertederos de Gipuzkoa estudiados, éste es el último en el que se empezó a muestrear los lixiviados. La primera muestra se recogió el 27-4-1993, una vez finalizadas las obras de ampliación y adecuación del antiguo vertedero existente. Entre 1993 y 1994 se han tomado 38 muestras, 17 el primer año y 21 el segundo. Todas ellas se han analizado en los laboratorios de Fraisoro.

El total de determinaciones consideradas ha sido de 1.078, de las que 189 (17,5%) se encontraban por debajo del límite de detección. Se dispone de información referente a 34 parámetros (Tabla 6.19). La mayoría de ellos (28) cuentan con más de 30 determinaciones. Los menos veces analizados han sido TOC, NO_2^- y CO_3^{2-} con 16, 9 y 4 determinaciones respectivamente.

El modelo de distribución normal es el más frecuente. 20 parámetros siguen este tipo de distribución: la totalidad de los iones, salvo NO_3^-, así como la temperatura, pH, conductividad, NTK, DQO, DBO_5, C.a.e., TOC, Fe, Mn, Cr. El resto, excepto Pb, que no se ajusta a ninguna de estas 2 distribuciones se ajustan a distribuciones lognormales (turbidez, S.S., Al, Zn, Ni, Cu y NO_3^-).

	SAN BLAS	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.I*	Distrib.
1	Temp.	33	-	20,1	20,5	2,33	11,6	10,3	2,65	12,8	19,15	21,8	23,1		normal
2	pH	36	-	7,98	8,0	0,30	3,7	1,5	0,28	7	7,9	8,18	8,5	5,5-9,5	normal
3	Cond.	36	-	5.977	5.870	832	13,9	3.590	1.085	3.990	5.438	6.523	7.580		normal
4	Turbidez	37	-	28,2	18	36	127	189,1	21,7	0,9	7,9	29,5	190		log
5	S.S.	37	-	164	105	173	106	753	125	18	57	182	771	80	log
6	NH_4^+	37	-	481	460	103	21,5	356	167	312	398	565	668	15	normal
7	NTK	36	-	438	418	90,4	20,6	331	147	303	373	519	634		normal
8	DQO	36	-	1.042	917	482	46,2	2.427	406	573	719	1.125	3.000	160	normal
9	DBO_5	23	-	117	70	124	106	460	70	10	50	120	470	40	normal
10	C.a.e.	25	-	651	608	233	35,7	937	250	213	510	760	1.150		normal
11	TOC	16	-	321	271	137	42,8	458	206	126	217	422	584		normal
12	Fe	37	-	11,4	6,72	9,91	87,2	48,8	11,3	1,4	4,75	16	50,2	2	normal
13	Mn	37	-	1,09	0,98	0,80	73,1	4,02	0,94	0,12	0,45	1,38	4,14	2	normal
14	Al	32	3 (9,4)	2,03	1,05	3,76	186	-	1,15	< 0,2	0,8	1,95	22	1	log
15	Zn	37	-	0,24	0,16	0,40	163	2,35	0,18	0,05	0,08	0,26	2,4	3	log
16	Pb	34	21 (61,8)	0,18	-	0,38	212	-	-	< 0,02	-	0,053	1,42	0,2	
17	Ni	34	16 (47,1)	0,14	0,045	0,20	148	-	-	< 0,02	-	0,17	0,98	2	log
18	Cr	37	1 (2,7)	0,20	0,14	0,15	75,2	-	0,14	< 0,02	0,11	0,25	0,7	2	normal
19	Cu	35	6 (17,1)	0,064	0,04	0,10	151	-	0,03	< 0,02	0,03	0,06	0,58	0,2	log
20	Cd	35	30 (85,7)	0,028	-	0,038	137	-	-	< 0,02	-	-	0,18	0,1	-
21	Hg	37	37 (100)	-	-	-	-	-	-	< 1	-	-	< 1	0,05	-
22	Na^+	32	-	519	513	143	27,6	768	166	312	419	585	1.080		normal
23	K^+	32	-	377	368	99,4	26,4	565	113	164	320	433	729		normal
24	Ca^{2+}	31	-	155	154	69	44,6	319,7	88	43,3	105	193	363		normal
25	Mg^{2+}	32	-	64,9	61,6	13,0	20	68,3	12,2	51,7	57,1	69,2	120		normal
26	CO_3H^-	31	-	2.914	2.810	507	17,4	2.050	780	1.810	2.520	3.300	3.860		normal
27	Cl^-	37	-	719	694	184	25,7	1.001	171	479	601	772	1.480	2.000	normal
28	SO_4^{2-}	37	1 (2,7)	282	227	152	53,8	-	213	< 10	176	389	712	2.000	normal
29	NO_3^-	35	25 (71,4)	5,29	-	6,84	129	-	-	< 0,8	-	5,44	33,7		log
30	PO_4^{3-}	37	-	2,08	1,82	1,19	57	5,26	1,52	0,55	1,19	2,71	5,81		normal
31	NO_2^-	9	1 (11,1)	0,196	0,16	0,17	84,9	-	0,287	< 0,003	0,048	0,335	0,488		-
32	CN	30	30 (100)	-	-	-	-	-	-	< 0,03	-	-	< 0,03	0,5	-
33	Fenoles	24	18 (75)	-	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	0,81	0,5	-
34	CO_3^{2-}	4	-	61,6	62,4	19,4	31,6	39,1	36,1	41,3	43,2	79,3	80,4		-
	TOTAL	1.078	189 (17,5)												

Tabla 6.19. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de San Blas. Unidades en mg/l salvo pH, conductividad (µS/cm), turbidez (UNF), C.a.e. (m^{-1}) y Hg (µg/l).

Como en todos los casos anteriores, las concentraciones de los parámetros son bastante altas en muchos de ellos. Ejemplos de esto son los valores medios de la conductividad y CO_3H^- (5.977 µS/cm y 2.914 mg/l respectivamente).

La clasificación de cationes y aniones según sus concentraciones es similar a la que se da en la mayoría de los vertederos ya vistos. El Na^+ es el catión más abundante con 519 mg/l de valor medio. Las concentraciones de CO_3H^- cuadriplican a las de Cl^-. Los SO_4^{2-} alcanzan los 282 mg/l como valor medio. En cambio, los NO_3^-, PO_4^{3-} y NO_2^- son minoritarios.

Cationes: $Na^+ > NH_4^+ > K^+ >> Mg^{2+} > Ca^{2+}$
Aniones: $CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} > NO_3^- > PO_4^{3-} = NO_2^-$
Metales: Fe >>> Al > Mn >> Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd > Hg

En lo que respecta a la secuencia de metales, es de remarcar el hecho de que las concentraciones de Al sean superiores a las de Mn. El Fe es el más abundante (11,4 y 6,7 mg/l como media y mediana respectivamente). Por detrás de Al y Mn, y con concentraciones muy inferiores aparece el Zn (0,24 y 0,16 de media y mediana).

El resto de metales analizados presentan concentraciones muy bajas y muchas determinaciones por debajo del límite de determinación. El Hg siempre se encuentra por debajo de su límite y el Cd en un 85,7% de las ocasiones. Los valores medios son menores a 0,18 mg/l. El Pb y Ni son los relativamente más abundantes y Cd y Hg los menos.

Seis de los parámetros considerados superan, en ocasiones ampliamente, los límites permitidos en vertidos a cauces públicos. Considerando sus valores centrales S.S., NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe y Al superan sus respectivos límites de referencia. Otros parámetros (Mn, Pb, Cu y Cd) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias. Como en todos los casos vistos hasta ahora no podrían verterse estos lixiviados de forma directa a cauces públicos sin tratamiento previo.

Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN y fenoles.

Tampoco podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca del Gran Bilbao (exceso de NH_4^+) ni a otras como las de Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+, NTK, DQO y Fe, de estos 2 últimos sólo la media, exceden lo permitido, así como los valores de algunas determinaciones de S.S., Mn, Al, Pb y Cu).

Evoluciones temporales

La evolución temporal de los principales parámetros analizados se presenta en las Figuras 6.20, 6.21 y 6.22.

En la Figura 6.20 (evolución de la conductividad y de elementos mayoritarios) se evidencia una uniformidad bastante clara en los valores que alcanza cada parámetro. Salvo algunos valores un tanto anómalos registrados en el primer análisis de Septiembre de 1993, el resto se mantiene dentro de márgenes de variación bastante estrechos. No se aprecia ningún tipo de tendencia temporal en la evolución de estos parámetros.

Las relaciones entre las evoluciones representadas no son tan marcadas como en el caso de algunos vertederos anteriores. Presentan evoluciones similares la conductividad y CO_3H^-, también Cl^-, Na^+ y K^+ entre sí, pero sin mostrar un paralelismo excesivo. Los SO_4^{2-}, Ca^{2+} y NH_4^+ siguen evoluciones un tanto independientes. Salvo en muy escasas ocasiones se cumple la siguiente secuencia: $CO_3H^- > Cl^- > Na^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$.

La relación entre las precipitaciones previas al momento del muestreo y las concentraciones medidas no son muy claras, aunque hay que tener en cuenta que los datos de precipitación corresponden a una estación, la de Elduayen, que aunque se encuentra relativamente cerca del vertedero, está a una altura superior y en otro valle, pudiendo ser los eventos de precipitación diferentes a los producidos sobre el vertedero. Las variaciones de concentraciones son poco importantes, salvo en el primer análisis de Septiembre de 1993, por lo que podría decirse que están poco condicionadas por las precipitaciones previas, al tomar los parámetros valores muy similares bajo condiciones de precipitaciones bastante variables.

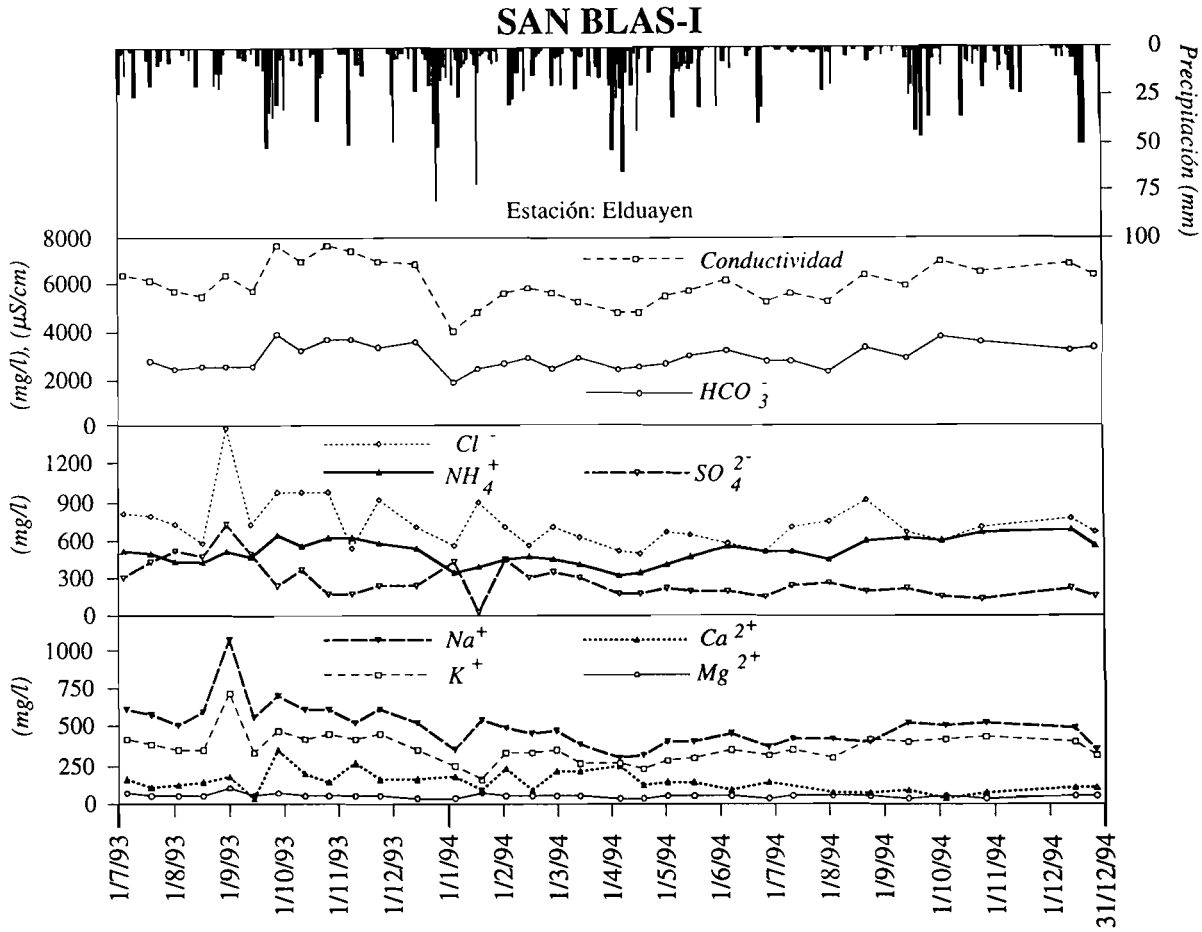


Figura 6.20. Evolución temporal de elementos mayoritarios y conductividad. Vertedero de San Blas.

En la Figura 6.21 (evolución de DQO, conductividad, Cl^-, $N\text{-}NH_4^+$, pH, PO_4^{3-}, S.S. y TOC) no se distingue ninguna tendencia (incrementos o descensos progresivos, homogeneizaciones de valores en algún periodo, etc.) en la evolución de ningún parámetro. Tampoco se aprecian semejanzas entre las evoluciones de los parámetros representados, salvo entre conductividad y $N\text{-}NH_4^+$.

La evolución de los metales Fe, Al, Mn, Zn, Cr y Cu se presenta en la Figura 6.22. Al igual que en la figura anterior, no se aprecian tendencias en las evoluciones de los parámetros ni relaciones claras entre las evoluciones de los mismos, a pesar de que coinciden en algunos análisis incrementos (picos) de varios de ellos, e incluso en una ocasión los de todos ellos (análisis de Marzo de 1994).

Sí llama la atención la escasa variación que sufren el Al, Zn y Cu, que presentan valores muy bajos excepto en 2 análisis de Febrero y Marzo de 1994. El Cr también toma valores muy bajos a partir de Abril de 1994. Tampoco hay evidencias de que existan relaciones entre las precipitaciones registradas y las concentraciones de los metales.

El Fe vuelve a ser el metal más abundante, sobrepasando en ocasiones los 50 mg/l. El Al es el segundo más abundante (< 25 mg/l). Le siguen el Mn y Zn, que no alcanzan en ningún caso los 2,5 mg/l. El Cr y Cu presentan concentraciones muy inferiores, siempre por debajo de 0,8 mg/l.

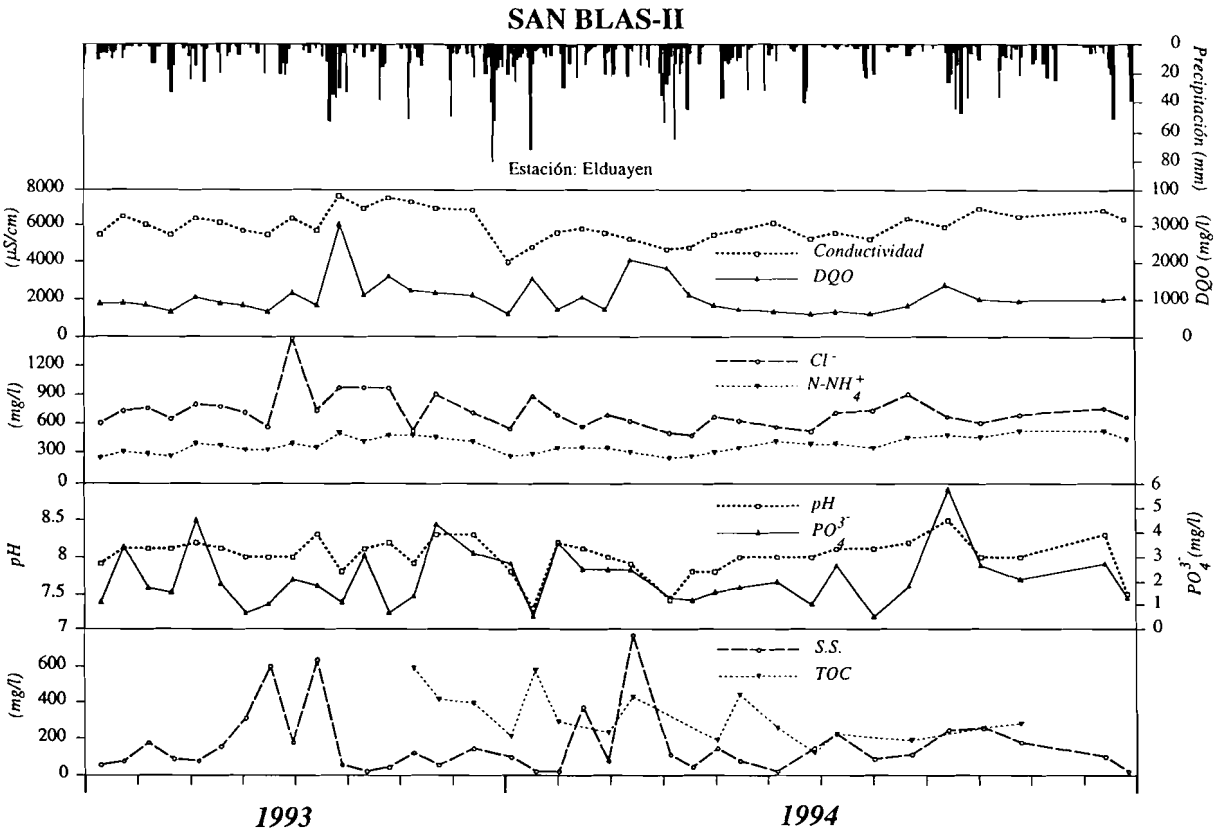


Figura 6.21. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de San Blas.

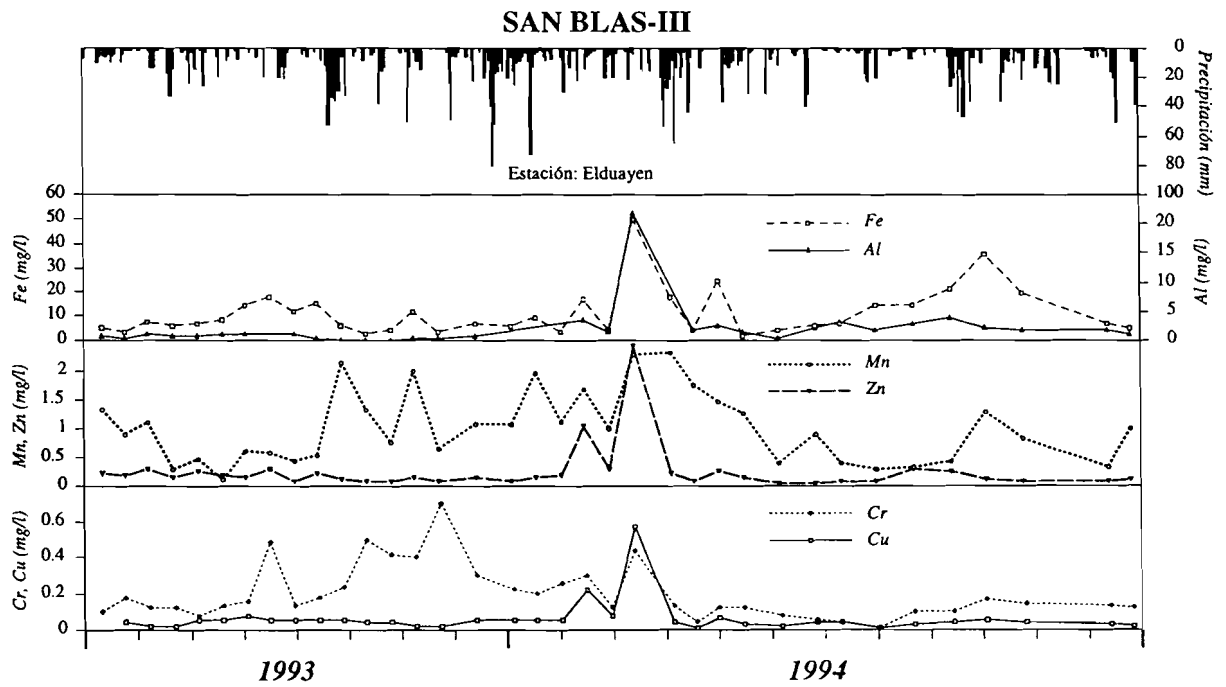


Figura 6.22. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn, Cr y Cu. Vertedero de San Blas.

Matriz de correlación

La matriz de correlación de los parámetros más analizados se muestra en la Tabla 6.20. Se dan coeficientes de correlación importantes entre los parámetros de los siguientes grupos:

- Conductividad, NH_4^+, NTK, C.a.e., CO_3H^-. La conductividad también se correlaciona aceptablemente con Na^+, K^+ y S.S., pero éstos no lo hacen con el resto de los integrantes del grupo.

- Cl^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+}.

- Al, Fe, Zn, Cu y S.S. Los coeficientes de correlación más altos se dan entre elementos de este conjunto (0,98 entre Cu y Zn, 0,94 entre Cu y Al, y 0,92 entre Zn y Al). También los metales Ni, Cd y Pb se correlacionan entre sí aceptablemente (debe tenerse en cuenta sus determinaciones por debajo del límite de detección).

También son a destacar las correlaciones existentes entre la terna formada por DQO, DBO_5 y TOC. La DQO también se correlaciona con Mn (0,61). Los NO_3^- no se correlacionan con ningún parámetro al igual que la temperatura, mientras que los SO_4^{2-} sólo lo hacen con Na^+ (0,53) y con Mg^{2+} (0,53). El pH, por su parte, sólo se relaciona con Mn (-0,76), C.a.e. (0,52) y PO_4^{3-} (0,57).

SAN BLAS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	
1 Temp.	1																													Temp.
2 pH		1							36			25			36															pH
3 Cond.			1		36		36	35				25												31	31	32				Cond.
4 Turb.				1																										Turb.
5 S.S.			0,53		1								32	37		37		35												S.S.
6 Cl						1																			31	31		31		Cl
7 NH4			0,80				1	36				25												31		32				NH4
8 NTK			0,84				0,94	1				25												30		31				NTK
9 PO4		0,57							1																					PO4
10 DQO										1	23				36												31		16	DQO
11 DBO5										0,64	1																		11	DBO5
12 C.a.e.		0,52	0,84				0,67	0,74				1					25							20		21				C.a.e.
13 Al					0,70								1	32		37		30												Al
14 Fe					0,70								0,75	1		37		35												Fe
15 Mn		-0,76								0,62					1												31		16	Mn
16 Zn					0,66								0,92	0,69		1		35												Zn
17 Cr												0,51					1												16	Cr
18 Cu					0,67								0,94	0,70		0,98		1												Cu
19 Ni																			1	34	33									Ni
20 Cd																			0,87	1	34									Cd
21 Pb																			0,78	0,87	1									Pb
22 NO3																						1								NO3
23 SO4																							1		31			32		SO4
24 CO3H			0,89				0,85	0,84				0,78												1						CO3H
25 Na			0,52			0,83																	0,54		1	31		31		Na
26 K			0,72			0,71	0,65	0,67				0,59													0,81	1		32		K
27 Ca										0,57					0,56												1			Ca
28 Mg						0,78																	0,53		0,81	0,54		1		Mg
29 TOC										0,66	0,50				0,64		0,57												1	TOC

Tabla 6.20. Matriz de correlación. Vertedero de San Blas.

6.5.9. VERTEDERO DE GÓNGORA

Del vertedero de Góngora (Navarra), único vertedero de los estudiados no situado en Gipuzkoa, se dispone de un total de 108 muestras de lixiviados, recogidas a partir de Enero de 1993 con una periodicidad media de una semana (la primera está fechada el 7-1-1993). Durante el primer año se tomaron 56 muestras y en el segundo 52. Todas las muestras han sido analizadas en los laboratorios del CTRSU de Góngora y en la EDAR de Arazuri.

El número de determinaciones asciende a 1.945, de las que 297 (15,2%) se sitúan por debajo de los límites de detección. En estas muestras no se han analizado en ningún caso cationes y aniones mayoritarios como pueden ser CO_3H^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+}. Tampoco hay información referente a turbidez, PO_4^{3-}, Hg, CN y fenoles. La información existente se refiere a 23 parámetros distintos (Tabla 6.21), caudal incluido, de los

cuales 15 de ellos cuentan con más de 100 determinaciones. Por contra, TOC, DBO_5, IC (carbono inorgánico) y toxicidad sólo se han analizado en 21, 17, 15 y 4 ocasiones respectivamente.

De los parámetros considerados 11 siguen modelos de distribución normal: temperatura, pH, conductividad, $N\text{-}NH_4^+$, NTK, DBO_5, TOC, IC, Fe, Mn y P. Sólo 3 se ajustan a distribuciones lognormales (S.S., Al y Zn), mientras que 5 no siguen ninguna de las 2 distribuciones (DQO, Pb, Ni, Cr y caudal).

Las concentraciones de la mayor parte de los parámetros son muy elevadas. Como muestra pueden citarse los valores medios de conductividad (5.660), DQO (6.584), DBO_5 (3.748), TOC (1.588) y Fe (61,1), dados en mg/l excepto la conductividad (µS/cm).

	GONGORA	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	Temp.	65	-	19,7	19	3,58	18,2	14,9	5,65	12,2	16,9	22,5	27,1		normal
2	pH	108	-	6,9	6,9	0,336	4,87	1,7	0,5	6,1	6,7	7,2	7,8	5,5-9,5	normal
3	Cond.	82	-	5.660	5.480	2.805	49,6	13.380	4.100	760	3.400	7.500	14.140		normal
4	S.S.	99	-	339	285	250	73,7	1.780	210	56	190	400	1.836		log
5	$N\text{-}NH_4^+$	108	-	231	235	139	60	625,9	230,6	13,1	101	331,6	639		normal
6	NH_4^+	108	-	297	302	178	60,1	804,8	296	16,8	130	426	822	15	normal
7	NTK	107	-	289	295	161	55,9	753,9	242	21,1	150	392	775		normal
8	DQO	108	-	6.584	5.839	3.981	60,5	19.355	4.574	325	3.894	8.468	19.680	160	
9	DBO_5	17	-	3.748	3.732	2.028	54,1	8.042	2.341	585	2.305	4.646	8.627	40	normal
10	TOC	21	-	1.588	1.325	922	58,1	3.128	1.402	110	999	2.400	3.238		normal
11	IC	15	-	127	107	76,6	60,3	262	136	38	69	205	300		normal
12	Fe	105	-	61,1	50	42,6	69,7	186,4	50,5	2,6	31	81,5	189	2	normal
13	Mn	106	-	1,98	1,8	1,14	57,5	5,3	1,4	0,2	1,2	2,6	5,5	2	normal
14	Al	105	5 (4,7)	1,65	0,8	2,37	143	-	1,2	< 0,1	0,4	1,6	14,4	1	log
15	Zn	106	-	3,49	2,65	2,67	76,5	16,2	3,43	0,4	1,5	4,93	16,6	3	log
16	Pb	106	62 (58,4)	0,108	-	0,099	91,2	-	-	< 0,05	-	0,13	0,6	0,2	
17	Ni	106	6 (5,6)	0,185	0,1	0,19	102	-	0,1	< 0,05	0,1	0,2	1,9	2	
18	Cr	105	40 (38)	0,081	0,1	0,09	111	-	-	< 0,05	-	0,1	0,9	2	
19	Cu	104	84 (80,7)	0,043	-	0,044	101	-	-	< 0,05	-	-	0,3	0,2	-
20	Cd	100	100 (100)	-	-	-		-	-	< 0,05	-	-	< 0,05	0,1	-
21	P	59	-	2,1	1,8	1,16	56	5,9	1,2	0,3	1,3	2,5	6,2		normal
22	Toxicidad	4	-	88.175	87.650	28.752	32,6	70.400	53.125	53.500	61.875	115.000	123.900		-
23	Caudal	101	-	0,65	0,18	1,43	222	8,49	0,28	0,014	0,10	0,38	8,5		
	TOTAL	1.945	297 (15,2)												

Tabla 6.21. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertedero de Góngora. Unidades en mg/l salvo pH y conductividad (µS/cm).

La carga orgánica de estos lixiviados es más que considerable, de hecho en este vertedero se dan los máximos valores medidos de DQO, DBO_5 y TOC. La concentración de sales disueltas también es importante, como lo indican los valores de conductividad.

En lo que respecta a los metales, es de destacar las altas concentraciones de Fe, así como el hecho de que el Zn sea el segundo metal más abundante por delante del Mn y del Al. Esta secuencia de metales es novedosa con respecto a los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa, en los que el Zn se encuentra en menor cantidad que Mn y Al.

Los demás metales analizados presentan concentraciones muy bajas. El Ni y Pb son los relativamente más abundantes (valores medios de 0,18 y 0,10 mg /l respectivamente) y el Cd el menor, al situarse siempre por debajo del límite de detección del aparato de medida (< 0,05 mg/l).

Metales: Fe >>> Zn > Mn > Al > Ni > Pb > Cr > Cu > Cd

Comparando los valores centrales de los parámetros analizados con las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos, se observa que sobrepasan ampliamente los límites permitidos los parámetros: S.S., NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe, Al y Zn (estos 2 últimos sólo la media, no la mediana). Otros parámetros (Mn, Pb y Cu) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias. Una vez más, tampoco podrían verterse estos lixiviados de forma directa a cauces públicos sin tratamiento previo.

Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH, Ni, Cr, Cd y P.

Tampoco podrían verterse sin tratamiento previo a redes de colectores con límites similares a los de la Comarca de Bilbao (exceso de NH_4^+, Fe y Zn en ocasiones) ni mucho menos a otras con límites menos permisivos, como los vigentes en Vitoria-Gasteiz (los valores medios de NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, y Fe exceden lo permitido, así como los valores de algunas determinaciones de S.S., Mn, Al y Zn).

Evoluciones temporales

La evolución temporal de los principales parámetros analizados se presenta en las Figuras 6.23 y 6.24.

En la Figura 6.23 (DQO, conductividad, N-NH_4^+, pH, P, S.S. y TOC) no se distinguen tendencias en ninguna de las evoluciones presentadas. Las variaciones son importantes y continuas en todos ellos, y a excepción de la DQO, N-NH_4^+ y conductividad que parecen tener evoluciones en parte similares, no se aprecian relaciones entre el resto de parámetros.

Sí se manifiesta una relación inversa entre los caudales de lixiviados registrados y las concentraciones de los distintos parámetros. El ejemplo más claro de esta relación se observa en los análisis de finales de Diciembre de 1993 y en los de Enero de 1994 en los que coincidiendo con grandes caudales los valores de los parámetros sufren importantes descensos. En otros casos también se aprecian incrementos de los valores de DQO, conductividad y N-NH_4^+, coincidiendo con periodos de caudales muy bajos (análisis de Noviembre y Diciembre de 1994).

La evolución de los metales Al, Fe, Mn, Zn, Cr y Ni se presenta en la Figura 6.24. Tampoco se aprecian tendencias en las evoluciones aunque sí cierta relación entre las evoluciones del Zn y Mn. Las de los demás metales no se asemejan entre sí ni con las de Zn y Mn.

Llama la atención la escasa variación que experimentan el Ni y Cu, que presentan valores muy bajos excepto en un par de casos. En cambio, los demás metales presentan continuas variaciones a lo largo de todo el periodo estudiado.

El Fe vuelve a ser el metal más abundante (valor máximo próximo a 200 mg/l), con concentraciones muy superiores a las del Zn y Al (no pasan de 20 mg/l). Les siguen el Mn, con concentraciones inferiores a 6 mg/l. El Ni y Cr son los menos abundantes con valores normales inferiores a 0,5 mg/l.

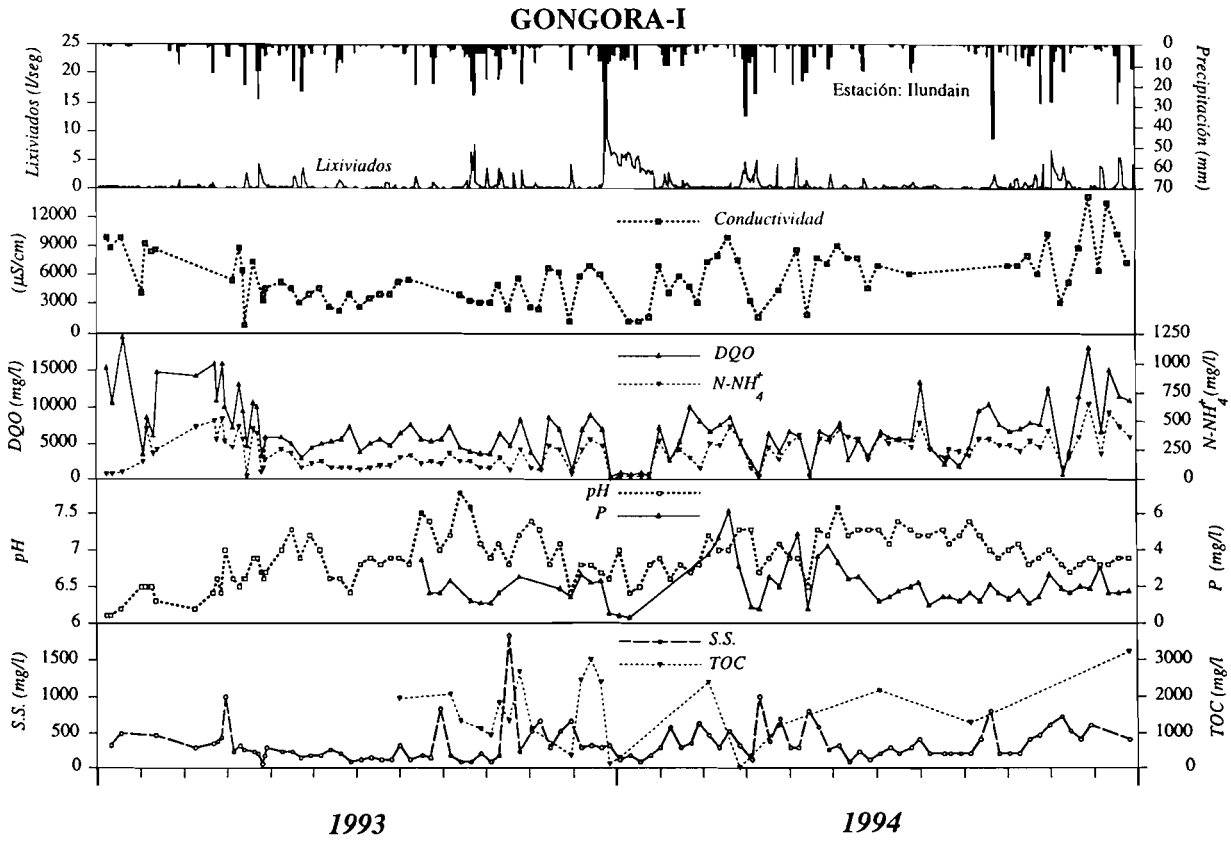


Figura 6.23. Evolución temporal de algunos parámetros característicos. Vertedero de Góngora.

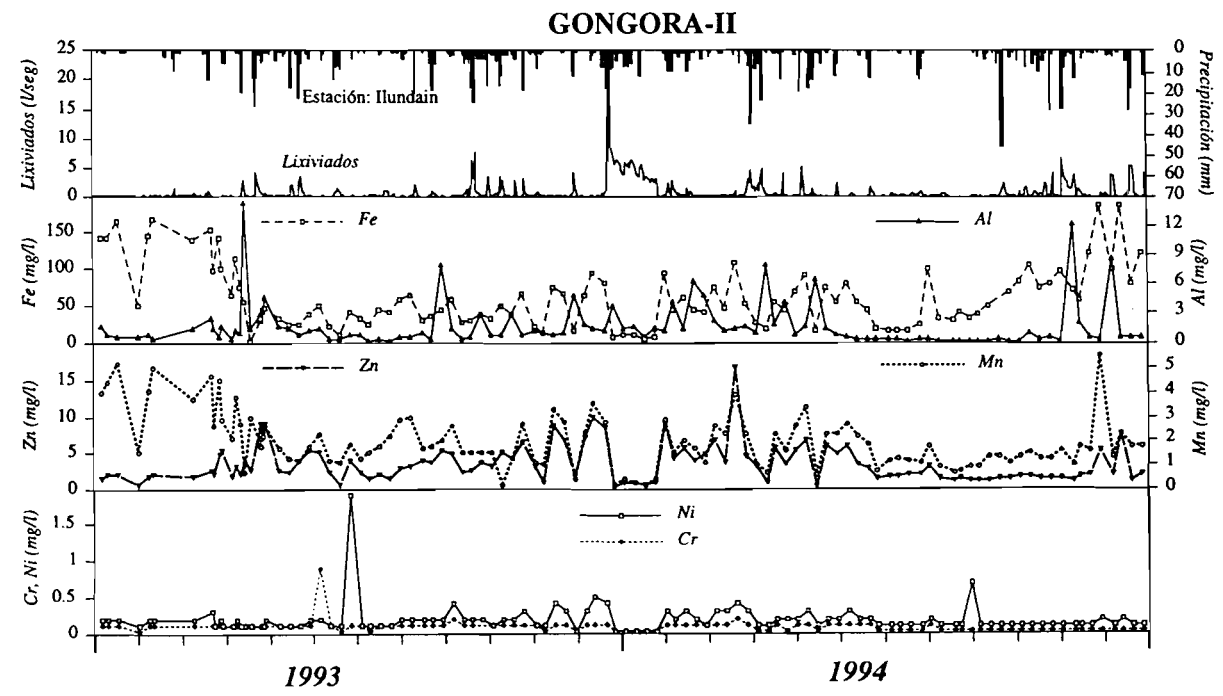


Figura 6.24. Evolución temporal de los metales Fe, Al, Mn, Zn y Cr. Vertedero de Góngora.

De igual manera que en la gráfica anterior, se manifiesta una relación inversa entre los caudales de lixiviados y las concentraciones de los parámetros. Los bajos valores de todos los metales en los análisis efectuados a finales de Diciembre de 1993 y en Enero de 1994 es también la prueba más evidente de este hecho.

Matriz de correlación

La matriz de correlación de los parámetros más frecuentemente analizados se muestra en la Tabla 6.22. Destacan las correlaciones que se dan entre los parámetros del grupo constituido por la conductividad, NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, Fe, Mn y TOC. Los mayores coeficientes de correlación se dan entre parámetros de este grupo, alcanzándose incluso valores de 0,99 (NH_4^+ con NTK) y de 0,98 (DQO con TOC). En cambio, los coeficientes entre NH_4^+ con Mn y entre DBO_5 con Mn no alcanzan el valor de 0,5 por un escaso margen.

El Zn, Pb y P también se relacionan entre sí. El Cr sólo se correlaciona con P, y el Ni con TOC. También es significativa la correlación negativa del caudal con la conductividad y con DBO_5 (-0,51 en ambos casos). Por otra parte, 3 parámetros no se correlacionan con ninguno otro (S.S., Al y Cu).

GONGORA	Temp.	pH	Cond.	S.S.	NH4	NTK	DQO	DBO5	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	P	TOC	Caudal	
1 Temp.	1																			Temp.
2 pH		1																		pH
3 Cond.			1		*82*	*81*	*82*	*12*		*81*	*80*							*17*	*75*	Cond.
4 S.S.				1																S.S.
5 NH4			0,82		1	*107*	*108*	*17*		*105*	*105*							*21*		NH4
6 NTK			0,86		0,99	1	*107*	*17*		*104*	*104*							*21*		NTK
7 DQO			0,81		0,65	0,71	1	*17*		*105*	*105*							*21*		DQO
8 DBO5			0,88		0,86	0,90	0,93	1		17							*13*	*9*	*16*	DBO5
9 Al									1											Al
10 Fe			0,82		0,57	0,63	0,83	0,84		1	104							*21*		Fe
11 Mn			0,71			0,53	0,75			0,78	1						*58*	*21*		Mn
12 Zn												1				*106*	*59*	*21*		Zn
13 Cr													1				*58*			Cr
14 Cu														1						Cu
15 Ni															1			*21*		Ni
16 Pb												0,63				1	*59*			Pb
17 P								0,53			0,64	0,68	0,64			0,53	1	*17*		P
18 TOC	0,75		0,90		0,91	0,96	0,98	0,96		0,88	0,77	0,67			0,70		0,73	1	*21*	TOC
20 Caudal			-0,51					-0,51										-0,56	1	Caudal

Tabla 6.22. Matriz de correlación. Vertedero de Góngora.

6.5.10. CARACTERIZACIÓN CONJUNTA DE LOS LIXIVIADOS DE LOS VERTEDEROS DE GIPUZKOA

Tras haber realizado en los capítulos anteriores un estudio individualizado de los lixiviados generados en cada uno de los vertederos estudiados, en este capítulo se comparan las características más sobresalientes de todos ellos con vistas a determinar las características comunes y las diferencias más notorias.

En primer lugar se comparan entre sí los lixiviados generados en los 7 vertederos situados en Gipuzkoa, vertederos todos ellos emplazados en lugares con características climáticas similares, sobre todo si se comparan con las reinantes en el área del vertedero de Góngora (regímenes de precipitaciones y temperaturas especialmente diferentes). En el último subapartado también se comentan las similitudes y diferencias de los lixiviados de los

vertederos de Gipuzkoa con los del vertedero de Góngora.

La comparación entre lixiviados se inicia con el estudio de los modelos de distribución de los parámetros comunes considerados. Se continua con el estudio de los parámetros más característicos (secuencias de cationes, aniones y metales ordenados de más a menos abundantes). Se resumen también las tendencias existentes en las evoluciones temporales de los distintos parámetros, las semejanzas entre las evoluciones de algunos de ellos, y se comparan los grupos de parámetros relacionados deducidos del estudio de las matrices de correlación confeccionadas para cada vertedero. Por último, también se comparan los resultados de los análisis Cluster y de los ACP realizados considerando por separado la información de cada vertedero.

Por otra parte, se ha considerado conjuntamente la totalidad de la información referente a los lixiviados de vertederos de Gipuzkoa y se ha confeccionado una tabla en la que se presentan los principales valores estadísticos de cada parámetro analizado. También se ha calculado la matriz de correlación partiendo de toda esta información y se han realizado distintos análisis Cluster y ACP.

6.5.10.1. DISTRIBUCIONES CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS CONSIDERADOS

Se ha aplicado el test de Kolmogorov-Smirnoff con vistas a comprobar si las distribuciones de las variables (parámetros analizados) pueden ser consideradas como normales o lognormales. Los resultados de este test (significación para ambas hipótesis) se presentan en la Tabla 6.23. No se ha comprobado la posible normalidad o lognormalidad de los parámetros si el número de determinaciones es insuficiente como para poder deducir la regularidad o forma general del comportamiento de dichas observaciones (n <10), caso de P, NO_2^-, CO_3^-, sulfuros, detergentes y Cr^{6+}, o cuando más del 75% de las determinaciones están por debajo del límite de detección (Cd, Hg, CN).

Como método complementario al del test de Kolmogorov-Smirnoff se ha utilizado el de la representación gráfica de la forma de las distribuciones (histogramas de frecuencia). Su simple visión nos permite deducir el grado de concentración de la variable y el rango de valores en el que se produce.

En la Figura 6.25 se muestran los histogramas para algunas variables con distribuciones claramente diferentes. NTK presenta en todos los casos distribuciones normales. El Al, en cambio, presenta en los 7 casos distribución lognormal. El Mn y la DQO presentan un comportamiento intermedio. El primero se ajusta más frecuentemente a distribuciones normales, mientras que el segundo lo hace a lognormales.

Los histogramas de las variables que no aparecen en la Figura 6.25 se presentan en el Anexo 6.6. Para los parámetros NO_2^-, P, CO_3^-, sulfuros, detergentes y Cr^{6+} no se han realizado los histogramas por disponerse de muy pocas determinaciones. Tampoco se presentan los correspondientes a Cd, Hg, fenoles y CN^- por contener frecuentes casos (>75%) por debajo del límite de detección.

			LAPATX		S.MARCOS		PETRITEGI		VENTAS		URTETA		SASIETA		SAN BLAS		LOS 7		GONGORA	
PARAMETROS		Distribución	Significación		Significación		Significación		Significación		Significación		Significación		Significación		Significación		Significación	
1	Temp.	Normal	0,818	SI	0,687	SI	0,642	SI	0,928	SI	0,732	SI	0,587	SI	0,631	SI	0,612	SI	0,703	SI
		Lognormal	0,683	SI	0,414	SI	0,732	SI	0,944	SI	0,537	SI	0,37	SI	0,318	SI	0,073	SI	0,556	SI
2	pH	Normal	0,261	SI	0,043		0,004		0,034		0,206	SI	0,206	SI	0,06	SI	0		0,408	SI
		Lognormal	0,326	SI	0,081	SI	0,013		0,048		0,214	SI	0,246	SI	0,037		0		0,54	SI
3	Cond.	Normal	0,685	SI	0,217	SI	0,006		0,77	SI	0,609	SI	0,034		0,843	SI	0,065	SI	0,802	SI
		Lognormal	0,725	SI	0,014		0,237	SI	0,023		0,243	SI	0,0003		0,978	SI	0,0003		0,495	SI
4	Turbidez	Normal	0,007		0		0		0		0		0,257	SI	0,011		0		-	
		Lognormal	0,083	SI	0,871	SI	0,352	SI	0,425	SI	0,447	SI	0,099	SI	0,69	SI	0		-	
5	S.S.	Normal	0		0		0		0,002		0		0,0001		0,03		0		0,0009	
		Lognormal	0,188	SI	0,946	SI	0,244	SI	0,911	SI	0,184	SI	0,237	SI	0,958	SI	0,069	SI	0,604	SI
6	NH_4^+	Normal	0,879	SI	0,717	SI	0,013		0,823	SI	0,089	SI	0,011		0,9	SI	0		0,426	SI
		Lognormal	0,149	SI	0,0012		0,065	SI	0,0007		0,009		0		0,942	SI	0		0,029	
7	NTK	Normal	0,932	SI	0,904	SI	0,493	SI	0,9	SI	0,283	SI	0,155	SI	0,604	SI	0,002		0,599	SI
		Lognormal	0,554	SI	0,215	SI	0,679	SI	0,23	SI	0,0009		0,001		0,897	SI	0,0005		0,021	
8	DQO	Normal	0,0002		0,0009		0,0007		0		0,043		0,003		0,063	SI	0		0,039	
		Lognormal	0,003		0,515	SI	0,133	SI	0,035		0,908	SI	0,004		0,546	SI	0,047		0,024	
9	DBO_5	Normal	0,0001		0,005		0,04		0,0004		0,0001		0,005		0,052	SI	0		0,652	SI
		Lognormal	0,266	SI	0,108	SI	0,675	SI	0,727	SI	0,894	SI	0,06	SI	0,61	SI	0,012		0,774	SI
10	C.a.e.	Normal	0,027		0,464	SI	0,327	SI	0,156	SI	0,148	SI	0,647	SI	0,512	SI	0		-	
		Lognormal	0,348	SI	0,0004		0,116	SI	0,398	SI	0,133	SI	0,0004		0,94	SI	0,0011		-	
11	TOC	Normal	0,252	SI	0,985	SI	0,36	SI	0,24	SI	0,778	SI	0,652	SI	0,496	SI	0,01		0,831	SI
		Lognormal	0,818	SI	0,656	SI	0,917	SI	0,73	SI	0,844	SI	0,992	SI	0,927	SI	0,768	SI	0,351	SI
12	Fe	Normal	0		0,256	SI	0		0,051	SI	0,002		0,075	SI	0,12	SI	0		0,062	SI
		Lognormal	0,326	SI	0,108	SI	0,186	SI	0,697	SI	0,291	SI	0,349	SI	0,611	SI	0,197	SI	0,593	SI
13	Mn	Normal	0,0003		0,389	SI	0		0,359	SI	0,713	SI	0,003		0,361	SI	0		0,071	SI
		Lognormal	0,043		0,174	SI	0,263	SI	0,149	SI	0,028		0,001		0,925	SI	0,0007		0,22	SI
14	Al	Normal	0,001		0,0019		0		0,0003		0,0001		0,027		0,002		0		0	
		Lognormal	0,836	SI	0,842	SI	0,818	SI	0,793	SI	0,857	SI	0,589	SI	0,86	SI	0,737	SI	0,638	SI
15	Zn	Normal	0		0		0		0		0		0,023		0,0001		0		0,018	
		Lognormal	0,596	SI	0,122	SI	0,531	SI	0,246	SI	0,297	SI	0,581	SI	0,582	SI	0,042		0,575	SI
16	Pb	Normal	0		0		0		0,0001		0,0001		0		0		0		0	
		Lognormal	0,042		0,033		0,035		0,075	SI	0,052	SI	0,011		0,012		0		0	
17	Ni	Normal	0,0007		0,0017		0,025		0,023		0,006		0,004		0,016		0		0	
		Lognormal	0,164	SI	0,329	SI	0,158	SI	0,373	SI	0,031		0,136	SI	0,097	SI	0		0	
18	Cr	Normal	0		0,0012		0,0001		0,012		0		0,042		0,097	SI	0		0	
		Lognormal	0		0,106	SI	0,519	SI	0,265	SI	0,0006		0,324	SI	0,485	SI	0		0	
19	Cu	Normal	0,0006		0,0019		0,491	SI	0,015		0,008		0,0005		0,0001		0		0	
		Lognormal	0,014		0,012		0,484	SI	0,062	SI	0,055	SI	0,018		0,14	SI	0		0	
20	Na^+	Normal	0,606	SI	0,235	SI	0,918	SI	0,202	SI	0,713	SI	0,997	SI	0,985	SI	0,178	SI	-	
		Lognormal	0,78	SI	0,033		0,922	SI	0,03		0,113	SI	0,986	SI	0,866	SI	0,059	SI	-	
21	K^+	Normal	0,77	SI	0,766	SI	0,911	SI	0,512	SI	0,411	SI	0,763	SI	0,864	SI	0,286	SI	-	
		Lognormal	0,926	SI	0,19	SI	0,992	SI	0,413	SI	0,02		0,492	SI	0,913	SI	0,003		-	
22	Ca^{2+}	Normal	0,504	SI	0,106	SI	0,997	SI	0,496	SI	0,996	SI	0,764	SI	0,783	SI	0,019		-	
		Lognormal	0,465	SI	0,092	SI	0,989	SI	0,968	SI	0,217	SI	0,277	SI	0,928	SI	0,061	SI	-	
23	Mg^{2+}	Normal	0,333	SI	0,15	SI	0,499	SI	0,951	SI	0,285	SI	0,51	SI	0,214	SI	0		-	
		Lognormal	0,593	SI	0,238	SI	0,887	SI	0,562	SI	0,085	SI	0,786	SI	0,569	SI	0,029		-	
24	CO_3H^-	Normal	0,817	SI	0,313	SI	0,986	SI	0,986	SI	0,689	SI	0,483	SI	0,841	SI	0,14	SI	-	
		Lognormal	0,98	SI	0,023		0,735	SI	0,627	SI	0,44	SI	0,3	SI	0,961	SI	0,004		-	
25	Cl^-	Normal	0,348	SI	0,633	SI	0,315	SI	0,825	SI	0,292	SI	0,003		0,693	SI	0		-	
		Lognormal	0,943	SI	0,002		0,487	SI	0,004		0,081	SI	0,0005		0,635	SI	0		-	
26	SO_4^{2-}	Normal	0,033		0,029		0,265	SI	0,444	SI	0,331	SI	0,028		0,32	SI	0		-	
		Lognormal	0,001				0,049	SI	0,0006		0,025		0,496	SI	0,043		0		-	
27	NO_3^-	Normal	0,036		0,0001		0,096	SI	0,043		0,041		0,002		0,016		0		-	
		Lognormal	0,244	SI	0,365	SI	0,098	SI	0,107	SI	0,022		0,11	SI	0,31	SI	0,065	SI	-	
28	PO_4^{3-}	Normal	0,016		0,051	SI	0		0,168	SI	0,021		0,466	SI	0,641	SI	0		-	
		Lognormal	0,088	SI	0,033		0,349	SI	0,027		0,624	SI	0,3	SI	0,955	SI	0,59	SI	-	
29	NO_2^-	Normal	0,75	SI	0,046		0,741	SI	0,042		0,894	SI	0,541	SI	0,972	SI	0,0006		-	
		Lognormal	0,459	SI	0,138	SI	0,201	SI	0,563	SI	0,985	SI	0,687	SI	0,614	SI	0,617	SI	-	

Tabla 6.23. Resultados del test Kolgomorov-Smimoff para las hipótesis de distribución normal y lognormal.

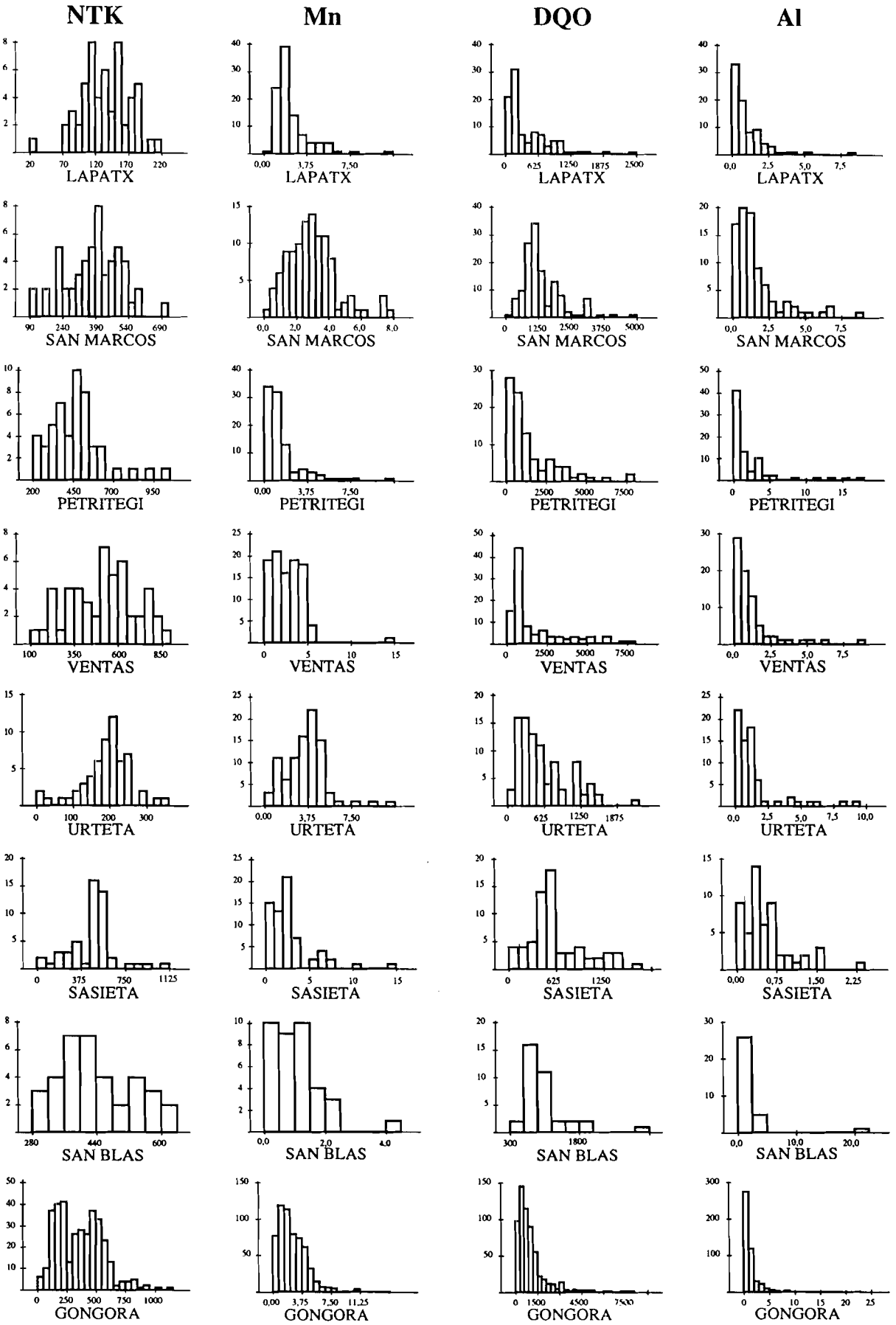


Figura 6.25. Histogramas de frecuencia para algunas variables características.

Conjuntamente a los histogramas de estos parámetros en los 7 vertederos de Gipuzkoa, se presentan los correspondientes al vertedero de Góngora. El NTK y Al también se ajustan a distribuciones normal y lognormal respectivamente. El Mn, en este caso presenta distribución normal mientras que la DQO no se ajusta a ninguno de los 2 modelos. En el apartado 6.5.10.7 se comenta este y otros aspectos.

En la Tabla 6.24 se presentan las variables que en cada caso se ajustan a distribuciones normales o lognormales (las casillas en blanco significan que no hay ajuste a ninguno de los 2 modelos de distribución). Como puede observarse, también presentan en todos los casos distribución normal, además de NTK, la temperatura, TOC, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} y CO_3H^-. El Cl^-, salvo en Sasieta, también se ajusta a un modelo normal. Distribuciones lognormales, además del Al, también las presentan en todos los casos S.S. y Zn. El Ni, excepto en Urteta, también presenta distribuciones lognormales.

El resto de los parámetros presentan un comportamiento intermedio y en algunos casos no se ajustan a ninguna de estas 2 distribuciones. El pH, conductividad, NH_4^+, C.a.e., Fe, Mn, SO_4^{2-} y PO_4^{3-}, presentan en mayor número de ocasiones distribuciones normales, mientras que las distribuciones de la turbidez, DQO, DBO_5, Cr, Cu y NO_3^- se ajustan más frecuentemente a modelos lognormales.

PARAMETROS		LAPATX	S.MARCOS	PETRITEGI	VENTAS	URTETA	SASIETA	SAN BLAS	LOS 7	GONGORA
1	**Temp.**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
2	**pH**	normal	log			normal	normal	normal		normal
3	**Cond.**	normal	normal	log	normal	normal		normal	normal	normal
4	**Turbidez**	log	log	log	log	log	normal	log		-
5	**S.S.**	log	log	log	log	log	log	log	log	log
6	**NH_4^+**	normal	normal	log	normal	normal		normal		normal
7	**NTK**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal		normal
8	**DQO**		log	log		log		normal		
9	**DBO_5**	log	log	log	log	log	log	normal		normal
10	**C.a.e.**	log	normal	normal	normal	normal	normal	normal		-
11	**TOC**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal		normal
12	**Fe**	log	normal	log	normal	log	normal	normal	log	normal
13	**Mn**		normal	log	normal	normal		normal		normal
14	**Al**	log	log	log	log	log	log	log	log	log
15	**Zn**	log	log	log	log	log	log	log		log
16	**Pb**				log	log				
17	**Ni**	log	log	log	log		log	log		
18	**Cr**		log	log	log		log	normal		
19	**Cu**			normal	log	log		log		
20	**Na^+**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	-
21	**K^+**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	-
22	**Ca^{2+}**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal		-
23	**Mg^{2+}**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal		-
24	**CO_3H^-**	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal	-
25	**Cl^-**	normal	normal	normal	normal	normal		normal		-
26	**SO_4^{2-}**			normal	normal	normal	log	normal		-
27	**NO_3^-**	log	log	normal	log		log	log	log	-
28	**PO_4^{3-}**	log	normal	log	normal	log	normal	normal	log	-
29	**NO_2^-**	normal	log	normal	log	normal	normal	normal	log	-

Tabla 6.24. Modelos de distribución (normal o lognormal) para los parámetros analizados.

6.5.10.2. CATIONES, ANIONES Y METALES MÁS CARACTERÍSTICOS

A partir de los valores centrales (medias y medianas) de los distintos cationes, aniones y metales analizados en los lixiviados estudiados, y que se muestran en las Tablas 6.7, 6.9, 6.11, 6.13, 6.15, 6.17 y 6.19, se han obtenido las correspondientes secuencias de estos grupos de parámetros. Estas secuencias, en las que se ordenan sus componentes de mayor a menor concentración, ya han sido comentadas separadamente en los apartados correspondientes a cada vertedero, pero no se han estudiado de forma conjunta al objeto de establecer las semejanzas y diferencias entre las mismas. En la Tabla 6.25 se presentan conjuntamente las secuencias de cationes, aniones y metales correspondientes a todos los vertederos estudiados. Al igual que en capítulos anteriores, se mantiene la simbología:

> Los valores centrales del parámetro de la izquierda son mayores que los del de la derecha pero sin llegar a duplicarlo.
>> Los valores centrales del parámetro de la izquierda son entre 2 y 4 veces mayores que los del de la derecha.
>>> Los valores centrales del parámetro de la izquierda al menos cuadriplican a los del de la derecha.
= Los valores centrales del parámetro de la izquierda son muy similares a los del de la derecha.

Lapatx	$Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} >> Mg^{2+}$
San Marcos	$Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} >>> Mg^{2+}$
Petritegi	$NH_4^+ > Na^+ > K^+ >> Ca^{2+} > Mg^{2+}$
Ventas	$Na^+ >> NH_4^+ > K^+ >> Ca^{2+} >> Mg^{2+}$
Urteta	$Na^+ >> NH_4^+ > Ca^{2+} > K^+ >> Mg^{2+}$
Sasieta	$Na^+ > NH_4^+ > K^+ >> Mg^{2+} > Ca^{2+}$
San Blas	$Na^+ > NH_4^+ > K^+ >> Ca^{2+} > Mg^{2+}$

Lapatx	$CO_3H^- >>> Cl^- >>> SO_4^{2-} >>> NO_3^- >>> NO_2^- >> PO_4^{3-}$
San Marcos	$CO_3H^- >>> Cl^- >>> SO_4^{2-} >>> NO_3^- >>> PO_4^{3-} >> NO_2^-$
Petritegi	$CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} >> NO_3^- >>> PO_4^{3-} > NO_2^-$
Ventas	$CO_3H^- > Cl^- >>> SO_4^{2-} >> NO_3^- >>> PO_4^{3-} > NO_2^-$
Urteta	$CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} > NO_3^- >>> NO_2^- >>> PO_4^{3-}$
Sasieta	$CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} > NO_3^- > PO_4^{3-} = NO_2^-$
San Blas	$CO_3H^- >>> Cl^- >> SO_4^{2-} >>> NO_3^- >> PO_4^{3-} >>> NO_2^-$

Lapatx	Fe >>> Mn > Al >>> Pb > Zn > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg
San Marcos	Fe >>> Mn > Al >>> Zn > Pb > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg
Petritegi	Fe >>> Al > Mn >>> Zn > Pb = Ni = Cr = Cu > Cd > Hg
Ventas	Fe > Mn >> Al >>> Zn > Pb > Ni = Cr > Cu = Cd > Hg
Urteta	Fe >> Mn >> Al >>> Zn >> Pb > Ni > Cr > Cu = Cd > Hg
Sasieta	Fe >> Mn >>> Al >> Pb > Zn > Ni > Cr > Cd > Cu > Hg
San Blas	Fe >>> Al > Mn >> Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd > Hg

Tabla 6.25. Secuencias de cationes, aniones y metales en los lixiviados estudiados.

Respecto al contenido en cationes, cabe destacar la gran semejanza que se aprecia en las secuencias obtenidas. En todos los vertederos estudiados, salvo en el caso de Petritegi, el Na^+

es el más abundante por delante del NH_4^+. En Petritegi se invierte este orden. En ocasiones incluso los valores de Na^+ pueden doblar a los de NH_4^+ (Ventas y Urteta). El K^+ y Ca^{2+} son, por este orden, los que les siguen en 5 de los 7 casos considerados. Sólo en Urteta ($Ca^{2+} > K^+$) y Sasieta ($K^+ >> Mg^{2+}$) se incumple esta característica. Las concentraciones medias de K^+ pueden duplicar las de Ca^{2+}, pero en ningún caso las cuadriplican. El Mg^{2+} es normalmente el catión menos abundante (en 6 de los 7 vertederos) con concentraciones que incluso pueden ser muy inferiores a las de Ca^{2+} (caso de San Marcos).

No se manifiestan diferencias apreciables entre vertederos activos e inactivos o según su antigüedad. Así, la secuencia de Ventas (inactivo desde Diciembre de 1992) es prácticamente idéntica a la de Lapatx (activo desde 1987) y a la de San Marcos (activo desde hace más de 20 años). Entre Petritegi y Ventas (vertederos clausurados) la única diferencia es la ya señalada de $NH_4^+ > Na^+$ en Petritegi. Entre Lapatx y Sasieta (de nueva construcción) las diferencias se dan sólo en el orden del Ca^{2+} y Mg^{2+}.

Como conclusión, puede considerarse como secuencia característica de los cationes en los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa :

$$Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$$

Las secuencias de aniones son muy similares en todos los vertederos. En todos los casos se cumple que: $CO_3H^- > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$, variando únicamente las diferencias relativas entre ellos (los CO_3H^- en ocasiones no doblan las concentraciones de Cl^-, mientras que en otras las cuadruplican de sobra; lo mismo ocurre con SO_4^{2-} y NO_3^-). Con concentraciones muy inferiores se encuentran los PO_4^{3-} y NO_2^- aunque en 2 casos (Lapatx y Urteta) el segundo supera al primero.

Como en el caso de los cationes, no se manifiestan diferencias apreciables entre vertederos activos e inactivos o según su antigüedad. Como conclusión, puede considerarse como secuencia característica en los lixiviados de vertederos de Gipuzkoa :

$$CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} >> NO_3^- >> PO_4^{3-} >> NO_2^-$$

Como complemento a la Tabla 6.25, se han representado los diagramas Schoeller-Berkaloff (Figura 6.26) considerando los valores máximos, medios y mínimos de los iones más abundantes (no se consideran PO_4^{3-} y NO_2^- por presentar siempre valores muy bajos). En general, se observa en todas las gráficas cómo las máximas concentraciones se dan en los aniones CO_3H^- y Cl^-, y en los cationes Na^+ y NH_4^+. Los menores valores se dan, por contra, en SO_4^{2-} y NO_3^-. El K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} presentan valores intermedios, siendo normalmente el Ca^{2+} el que presenta los menores valores mínimos.

Por último, con relación al contenido en metales, cabe diferenciar 2 grupos. El primero, formado por Fe, Mn y Al, que se encuentran en concentraciones considerables, especialmente el Fe. Y el segundo, formado por los demás metales, que se encuentran en concentraciones mucho menores.

Las secuencias son también muy similares en todos los vertederos considerados. El Fe es siempre el más abundante de todos ellos siendo normal que sus valores medios sean muy superiores a los del segundo metal más abundante, que es normalmente el Mn (excepto en

Petritegi y San Blas que es el Al). Entre los metales minoritarios, en general, los más frecuentes son el Zn, Pb y Ni, por este orden, aunque éste se altera en algunos casos. El Cd y Hg son casi siempre los menos abundantes.

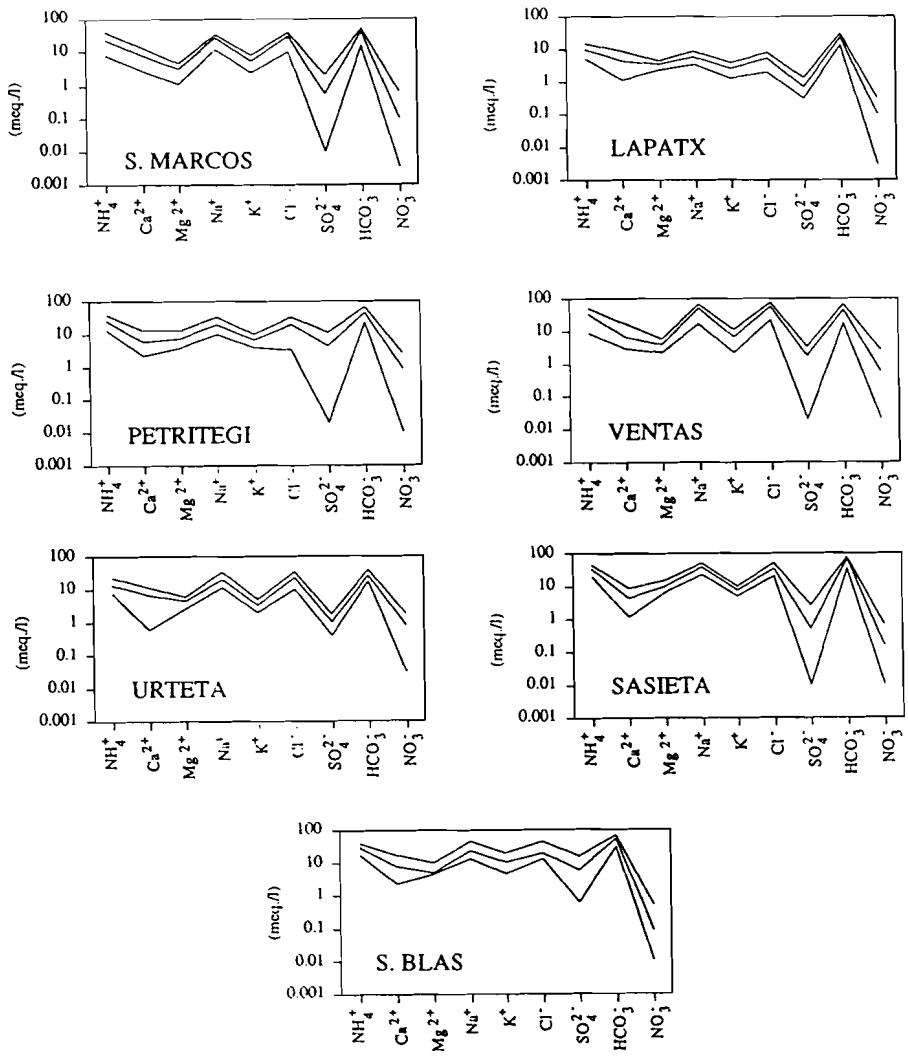


Figura 6.26. Diagramas Schoeller-Berkaloff. Vertederos de Gipuzkoa.

Las pequeñas diferencias existentes entre las secuencias de los distintos vertederos no pueden relacionarse en principio con la antigüedad de los mismos o con su estado actual (activo o clausurado). A pesar de ello, debe mencionarse el hecho de que en los 2 vertederos de nueva construcción (Lapatx y Sasieta), el Pb es más abundante que el Zn. También es llamativo que en el de Petritegi (ya clausurado), el Al sea más abundante que el Mn, aunque esto también sucede en el de San Blas (activo durante 2 décadas). Como secuencia típica de metales podría considerarse la siguiente:

$$Fe >>> Mn >> Al >>> Zn > Pb > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg$$

6.5.10.3. TENDENCIAS Y EVOLUCIONES SIMILARES

En los capítulos anteriores, en los que se estudiaba el quimismo de los lixiviados vertedero a vertedero, se abordaba el estudio de las evoluciones temporales comparadas de diversos parámetros físico-químicos frecuentemente analizados en los lixiviados.

La realización de estas gráficas de evolución tenía como objetivo reflejar las magnitudes y los rangos de variación de los principales parámetros y poner en evidencia, en caso de que existieran, las tendencias en la evolución de los mismos (aumentos o descensos continuados a lo largo del tiempo, presencia de ciclos, etc.), las relaciones entre ellos, así como posibles influencias de los caudales y/o precipitaciones registradas previamente al muestreo sobre las concentraciones resultantes.

En este apartado se resumen las conclusiones obtenidas del estudio de todas estas gráficas relativas a la evolución del quimismo de los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa.

Evoluciones de conductividad e iones fundamentales

De la serie de gráficas en las que se refleja la evolución de la conductividad e iones fundamentales (Figuras 6.2, 6.5, 6.8, 6.11, 6.14, 6.17 y 6.20) a lo largo del periodo Julio-1993 a Diciembre-1994 pueden deducirse las siguientes conclusiones:

- No se aprecian tendencias temporales en la evolución de estos parámetros en ninguno de los vertederos. En general, los valores se mantienen dentro de un mismo rango, más o menos variable, a lo largo de todo el periodo estudiado.

- Sí se aprecia una relación bastante clara entre las evoluciones de la conductividad y gran parte de los elementos representados. Las curvas de evolución de la conductividad, Cl^-, NH_4^+, CO_3H^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+} suelen presentar un paralelismo bastante evidente. Estas relaciones son algo menos claras en los vertederos de Petritegi y San Blas (el paralelismo no es tan evidente entre todos los parámetros y las evoluciones de NH_4^+ se alejan en parte de la norma).

- Los SO_4^{2-}, Ca^{2+}, y NO_3^- siguen evoluciones no relacionadas con las de los parámetros citados en el párrafo anterior. En ocasiones el SO_4^{2-} puede presentar evoluciones inversas a la de dichos parámetros.

- Respecto a la relación de las concentraciones medidas con las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas más cercanas a los respectivos vertederos, en general se aprecia una relación inversa entre ambas, coincidencia entre los descensos o incrementos de las concentraciones de los parámetros relacionados (Cl^-, NH_4^+, CO_3H^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+}) con periodos lluviosos o secos respectivamente. En algunos casos concretos, sin embargo, no se cumple esta relación.

- Las variaciones de concentración de SO_4^{2-}, Ca^{2+}, y NO_3^- no parecen estar relacionadas con las precipitaciones registradas.

Evoluciones de DQO, TOC, N-NH_4^+, PO_4^{3-}, pH, S.S., conductividad y Cl^-

Las gráficas relativas a la evolución temporal de parámetros relacionados con la degradación de la materia orgánica (DQO, TOC, N-NH_4^+, PO_4^{3-}) y otros como pH, S.S., conductividad y Cl^- (Figuras 6.3, 6.6, 6.9, 6.12, 6.15, 6.18 y 6.21) también permiten realizar observaciones importantes (el periodo considerado es variable según los vertederos, desde 6 años en el caso de San Marcos, hasta año y medio en el caso de San Blas)

En relación a la forma de las evoluciones cabe destacar las que presentan los parámetros:

Lapatx
DQO: valores bajos y homogéneos a partir de Abril-Mayo de 1992
San Marcos
Conductividad, Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$: ligero incremento general con el tiempo
DQO: valores más homogéneos a partir de Abril de 1992
pH: descenso considerable de valores y homogeneización de los mismos a partir de Diciembre de 1992
Petritegi
Conductividad y DQO: descenso más o menos continuado a lo largo de los 6 años considerados y homogeneización de los valores de DQO (y $N\text{-}NH_4^+$) a partir de los primeros meses de 1993.
PO_4^{3-}: ligera disminución en el tiempo y valores más homogéneos a partir de Enero de 1993.
Ventas
DQO: homogeneización de los valores a partir de Septiembre-Octubre de 1992
Urteta
Conductividad, Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$: incremento progresivo con el tiempo. Rango de variación limitado.
DQO: homogeneización leve a partir de Mayo de 1993
pH: incremento medio a partir de 1992
Sasieta
DQO: homogeneización de los valores a partir de Abril-Mayo de 1993
pH: incremento medio de los valores a partir de Diciembre de 1992
San Blas
Ningún aspecto reseñable

Como se deduce de este listado, sólo en las evoluciones de algunos parámetros se aprecian ciertas tendencias de evolución. La Conductividad, Cl^- y $N\text{-}NH_4^+$ aumentan ligeramente en el tiempo en los lixiviados de 2 vertederos (San Marcos, Urteta). Aunque quizás el periodo de tiempo considerado (6 años en ambos casos) sea aún limitado para establecer conclusiones definitivas, no deja de ser importante la existencia de estas tendencias.

En cambio, la conductividad, junto con la DQO y PO_4^{3-}, sufre un descenso más o menos continuado en Petritegi, comportándose de forma muy diferente a como lo hace en los vertederos de San Marcos y Urteta.

La DQO, salvo en Petritegi, no sigue ninguna tendencia apreciable, pero sí se distinguen en sus evoluciones cambios en la variabilidad de sus valores. Como se ha citado líneas arriba, se observa una homogeneización de sus valores en todos los vertederos salvo en el de San Blas. Este comportamiento se trata con detalle en el apartado 6.6.

Las evoluciones de pH también presentan algunas peculiaridades (vertederos de San Marcos, Urteta y Sasieta), aunque en este caso el hecho de tratarse de datos analizados en laboratorio y no en el momento de muestreo resta significancia a esta observación.

Por último, las evoluciones de PO_4^{3-}, S.S. y TOC no sufren cambios destacable durante

los periodos considerados (excepto PO_4^{3-} en un caso ya mencionado).

Respecto a las relaciones entre sí de las evoluciones de estos parámetros sólo cabe mencionar las relaciones que se dan en todos los vertederos, excepto en el de San Blas, entre las evoluciones de conductividad y Cl^-, y en menor medida con $N\text{-}NH_4^+$ en algunos casos. En el vertedero de San Blas se asemejan bastante la evolución de conductividad con la de $N\text{-}NH_4^+$, pero no con la de Cl^-.

Los rangos de variación de los parámetros considerados son en general, en todos los vertederos, bastante importantes, con aumentos y disminuciones considerables de forma continua.

Los frecuentes aumentos y descensos no pueden relacionarse de forma clara con los caudales medidos ni con ausencia o presencia de precipitaciones previas al momento de muestreo, en parte debido a la dificultad encontrada en interpretar la gráfica de precipitaciones, que al contener tantos datos diarios, no permite diferenciar con nitidez los periodos poco lluviosos de los muy lluviosos. También hay que tener en cuenta que en Gipuzkoa las precipitaciones se distribuyen a lo largo del todo el año de forma bastante homogénea, lo cual complica más aún la diferenciación entre periodos lluviosos y no lluviosos. A pesar de ello, se ha observado algunas relaciones entre concentraciones y caudales. Así, en San Marcos algunos descensos fuertes de conductividad y Cl^- sí coinciden con periodos lluviosos. También en San Blas, parece existir una relación directa entre los incrementos de DQO y TOC con las precipitaciones, e inversas entre éstas con PO_4^{3-}.

Evolución de los metales

A partir de la serie de gráficas en las que se refleja la evolución de los metales más abundantes (Figuras 6.4, 6.7, 6.10, 6.13, 6.16, 6.19 y 6.22) se pueden realizar también ciertas observaciones.

Lo más destacable es el hecho de que en ningún caso se evidencien tendencias temporales en las evoluciones de estos parámetros. En cambio, también en relación a la forma de las evoluciones puede resaltarse algunos aspectos:

San Marcos
Zn: valores homogéneos salvo 2 muestras tomadas a finales de 1991 y primeros de 1992.
Petritegi
Fe, Al, Mn y Zn: valores poco variables hasta Mayo-Junio de 1991 y entre Enero y Diciembre de 1991, con valores muy bajos, independientemente de las precipitaciones registradas. En el medio, la variabilidad es considerable.
Ventas
Zn: valores homogéneos salvo 3 muestras tomadas en 1992.
Urteta
Fe y Cr, y en menor medida el Zn: variabilidad mayor y más picos a partir de Mayo de 1991.
San Blas
Al, Zn y Cu: valores muy bajos y homogéneos salvo 2 análisis de Febrero y Marzo de

1994.
Cr: valores muy bajos a partir de Abril de 1994.

Tampoco se ponen en evidencia relaciones entre las evoluciones de los distintos metales, aunque en la mayoría de los vertederos pueden coincidir algunos picos aislados de varios metales.

Los rangos de variación son muy importantes en todos los metales, especialmente en el caso del Fe, sin que haya evidencias de que existan relaciones entre las precipitaciones registradas en las estaciones cercanas y las concentraciones de metales medidas. Durante periodos de lluvias aparentemente importantes, pueden registrarse tanto aumentos como disminuciones de las concentraciones de estos metales.

El cambio de las técnicas de análisis empleadas para la determinación de los metales (a partir de Mayo de 1991 se digieren las muestras en vez de filtrarlas), no afecta al rango de las concentraciones medidas. Esto se interpreta como resultado de que la mayoría de los metales se encuentran en los lixiviados en forma disuelta, ya que si no fuera así, debería de haberse producido un incremento claro en las concentraciones resultantes como consecuencia de la digestión de las muestras.

Únicamente en el vertedero de Urteta se producen variaciones en la forma de las curvas de evolución de algunos metales (Fe y Cr sobre todo) a partir aproximadamente de la misma fecha. A pesar de esta coincidencia, no parece que estos cambios tengan su origen en el diferente tratamiento de la muestra, ya que lo lógico es pensar que si dependiera realmente de ello, también tendrían que manifestarse cambios en la evolución de estos metales en los lixiviados de los otros vertederos, en los que el tipo de basura y la gestión de la misma es prácticamente idéntica a la que se da en Urteta. La causa de estos cambios puede estar relacionada con algunos problemas encontrados en la arqueta donde se realizaba el muestreo (obstrucciones en el tubo final que evacuaba los lixiviados e incluso pequeñas inundaciones en la arqueta que podían condicionar la labor de muestreo).

6.5.10.4. PARÁMETROS RELACIONADOS

En la Tabla 6.26 se muestra para cada vertedero los diferentes grupos constituidos por parámetros que se correlacionan entre sí con coeficientes de correlación lineal de Pearson superiores a 0,5. Esta tabla se ha confeccionado a partir del estudio individualizado de las matrices de correlación realizadas para cada vertedero (Tablas 6.8, 6.10, 6.12, 6.14, 6.16, 6.18 y 6.20), tablas ya comentadas en apartados anteriores.

Esta tabla pone de manifiesto ciertas relaciones generales que se dan entre parámetros de casi todos los vertederos considerados:

- Por una parte hay un conjunto formado por bastantes parámetros, fundamentalmente iones, entre los cuales se suelen dar los máximos coeficientes de correlación. Los componentes principales de este grupo son: Conductividad, Cl^-, CO_3H^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}, NH_4^+, NTK. Otros parámetros que pueden correlacionarse con ellos en ocasiones son C.a.e. y PO_4^{3-}.

Lapatx	Cond., Cl^-, NH_4^+, NTK, CO_3H^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}	DQO, DBO_5 , TOC NH_4^+, NTK	Zn, Cr, Cu, Ca^{2+}	Ni, Cd, Pb	Fe, S.S.	pH, Mn
S. Marcos	Cond., Cl^-, NH_4^+, NTK, CO_3H^-, Na^+, K^+	DQO, DBO_5, fenoles, Ca^{2+} NH_4^+, NTK	Fe, Mn, TOC, DBO_5	Ni, Cd, Pb	S.S., turbidez	pH, Fe
Petritegi	Cond., Cl^-, Na^+, K^+	DQO, C.a.e., TOC NH_4^+, DQO, C.a.e., PO_4^{3-}, Cond.	Fe, Mn, S.S.	Ni, Cd, Pb	Zn, Cr, Ca^{2+}	
Ventas	Temp., cond., Cl^-, NH_4^+, NTK, CO_3H^-, Na^+, Mg^{2+}, C.a.e., SO_4^{2-}, PO_4^{3-}	DQO, DBO_5 NH_4^+, NTK, C.a.e.		Ni, Cd, Pb, DBO_5	S.S., turbidez	pH, Mn
Urteta	Cond., Cl^-, NH_4^+, NTK, CO_3H^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}	DQO, DBO_5 , C.a.e. NH_4^+, NTK	Fe, Cu	Ni, Cd, Pb	Al, turbidez; S.S., turbidez	
Sasieta	Cond., Cl^-, NH_4^+, NTK, C.a.e., CO_3H^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}	DQO, DBO_5, Fe, Mn, Zn NH_4^+, NTK, C.a.e.	Fe, Mn, Zn, Ni, Cd	Ni, Cd, Pb	Fe, Mn con S.S. y turbidez	pH, Mn
San Blas	Cond., NH_4^+, NTK, CO_3H^-, C.a.e.; Cl^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}	DQO, DBO_5, TOC NH_4^+, NTK, C.a.e.,	Fe, Al, Zn, Cu, S.S.	Ni, Cd, Pb		pH, Mn

Tabla 6.26. Grupos de parámetros relacionados entre sí ($r > 0,5$).

	N	FAMILIA 1	SUBFAMILIA 2.1	SUBFAMILIA 2.2
Lapatx	67	Cond., Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, (pH)	S.S., Fe, turbidez, Mn, Zn, Al, DQO	
S. Marcos	73	Cond., Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}	turbidez, S.S., Al	Fe, Mn, DQO, Zn. pH
Petritegi	56	Cond., DQO, PO_4^{3-}, Cl^-, NH_4^+, Al, pH	S.S., Fe, turbidez, Mn	Zn
Ventas	65	Cond., Cl^-, PO_4^{3-}, NH_4^+, pH, DQO	Fe, Al	turbidez, S.S., Zn y Mn
Urteta	61	Cond., Cl^-, NH_4^+, pH, (PO_4^{3-})	turbidez, S.S., Fe, Zn, Al, Mn, (DQO)	
Sasieta	51	Cond., Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, (pH)	turbidez, Fe, Mn, DQO, Zn, (S.S., Al)	
San Blas	31	Cond., NH_4^+, Cl^-, pH, PO_4^{3-}	DQO, Mn, S.S., Fe, Al, Zn	turbidez

Tabla 6.27. Asociaciones o familias de variables deducidas a partir de los análisis Cluster (N: número de muestras).

	N	FACTOR I	FACTOR II	FACTOR III	FACTOR IV
Lapatx	67	S.S., Fe, Al, turbidez	DQO, pH, Mn, Zn	Cond., Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}	
S. Marcos	73	Cond., Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}	S.S., turbidez, Al, Zn, DQO,	pH, Fe, Mn	
Petritegi	56	Cond., Cl^-, DQO, PO_4^{3-}, pH, NH_4^+	S.S., Fe, turbidez, Al	Zn, Mn	
Ventas	65	Cond., Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}	pH, Mn, DQO	Al, S.S., Fe, turbidez	Zn
Urteta	61	S.S., Fe, turbidez, Al, Mn	Cl^-,Cond., NH_4^+, pH	PO_4^{3-}, Zn, DQO	
Sasieta	51	Mn, turbidez, Fe, pH, Zn, S.S.	Cond., Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}	Al, DQO	
San Blas	31	NH_4^+, Cond.,Cl^-, Turbidez	Fe, S.S., Al	Mn, DQO	PO_4^{3-}, pH, Zn

Tabla 6.28. Relaciones entre los factores deducidos por los ACP y las variables primitivas (N: número de muestras).

- También se pone en evidencia la relación entre parámetros indicativos de contaminación orgánica. La DQO y DBO_5 se correlacionan aceptablemente en todos los vertederos, salvo en el de Petritegi. También NH_4^+ y NTK se correlacionan en todos los vertederos, salvo en el de Petritegi. La DQO y DBO_5 suelen correlacionarse con TOC y con C.a.e., y NH_4^+ y NTK con C.a.e.. Sin embargo, la DQO y DBO_5 no suelen correlacionarse con NH_4^+ y NTK.

- Entre los metales se dan diversas correlaciones. El Fe y Mn se relacionan aceptablemente en 3 vertederos. Destacan las correlaciones que se dan en todos los vertederos entre los metales Ni, Cd y Pb, aunque en este caso hay que tener en cuenta el elevado número de determinaciones situadas por debajo del límite de detección que hace que los coeficientes no sean del todo significativos al haberse sustituido los límites por su valor mitad.

- Los S.S. se suelen correlacionar con la turbidez y también con algunos metales como Fe y Mn. Estos 2 últimos metales, especialmente el Mn, también se suelen correlacionar negativamente con el pH.

6.5.10.5. ANÁLISIS CLUSTER Y ACP

Como se comentó en el apartado 6.5.1 únicamente se han considerado 12 variables (pH, conductividad, Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, S.S., turbidez, DQO, Fe, Mn, Al y Zn) en los análisis Cluster y en los análisis por componentes principales (ACP) al objeto de que se cumpla que el número de muestras sea bastante superior al de variables consideradas.

Análisis Cluster

Los dendogramas para los 7 vertederos, realizados en base a los coeficientes de correlación de Pearson, se muestran en la Figura 6.27. De la observación de estos 7 dendogramas puede extraerse diversa información:

LAPATX: Se diferencian 2 familias de variables. Por una parte tenemos la agrupación de la conductividad con Cl^-, con NH_4^+ y PO_4^{3-}, y en menor medida con el pH. Por otra tenemos la agrupación de los metales con S.S., turbidez, y DQO. La mayor relación en esta segunda familia se dan entre Fe y S.S.

SAN MARCOS: También se diferencian 2 familias de variables. Una formada por la conductividad con Cl^-, con NH_4^+ y PO_4^{3-}, y otra que puede subdividirse a su vez en 2 subfamilias: turbidez, S.S. y Al por un lado, y Fe, Mn, DQO y Zn por el otro. El pH no se relaciona con ninguna otra variable.

PETRITEGI: 2 agrupaciones o familias. Por una parte, conductividad, DQO, PO_4^{3-}, Cl^-, NH_4^+, Al y pH. Por otra, S.S., Fe, turbidez y Mn. El Zn no se relaciona con ninguna variable en este caso.

VENTAS: También se distinguen 2 agrupaciones. La primera puede subdividirse claramente en 2 e incluso podría hablarse de 2 familias diferentes: la conductividad, Cl^-, PO_4^{3-}, NH_4^+, pH y DQO constituirían la primera subfamilia, y Fe y Al la segunda. La segunda agrupación está formada por la turbidez, S.S., Zn y Mn.

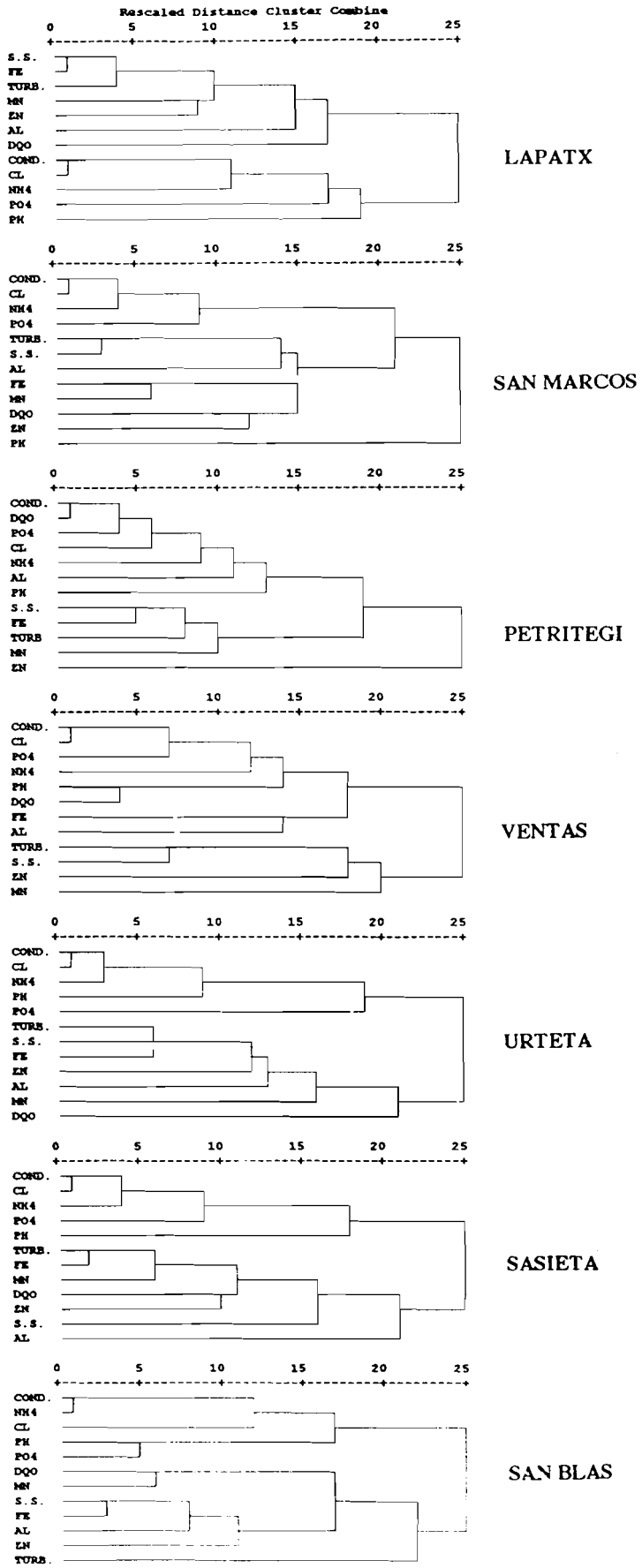


Figura 6.27. Dendogramas de variables en los 7 casos considerados.

URTETA: 2 agrupaciones: conductividad con Cl^-, NH_4^+, pH y en menor medida PO_4^{3-}, por un lado, y turbidez, S.S., Fe, Zn, Al, Mn, por otro, con la DQO también en menor grado.

SASIETA: 2 agrupaciones: conductividad con Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, y en menor grado pH. Y turbidez con Fe, Mn, DQO, Zn, con S.S. y Al también en menor medida.

SAN BLAS: 2 agrupaciones: conductividad, NH_4^+, Cl^-, pH y PO_4^{3-}, por un lado, y DQO, Mn, S.S., Fe, Al, Zn, por otro. La turbidez apenas se relaciona con las variables del segundo grupo.

La comparación de estas agrupaciones o familias resultantes de cada vertedero (Tabla 6.27; entre paréntesis se indican las variables que se relacionan en menor grado; se subrayan también las que no se asocian a ninguna otra variable) permite poner en evidencia las siguientes relaciones entre algunas variables:

- Destaca la relación existente en todos los vertederos entre los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+ y PO_4^{3-}. El pH también suele asociarse con ellos, aunque en algunas ocasiones con correlaciones bastante bajas. La DQO se asocia a estos parámetros en 2 casos (Petritegi y Ventas), y el Al en una ocasión (Petritegi). Las máximas correlaciones se dan normalmente entre la conductividad y Cl^-.

- El resto de parámetros (los metales Fe, Mn, Al y Zn, S.S., turbidez y DQO) se agrupan también entre sí aunque en ocasiones dando lugar a 2 subfamilias. Algunos de estos parámetros, caso del pH en San Marcos, Zn en Petritegi o turbidez en San Blas no forman parte de ninguna familia.

Análisis por componentes principales (ACP)

La aplicación de esta técnica estadística también se ha demostrado como válida a la hora de caracterizar el quimismo de los lixiviados estudiados. Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, esta técnica nos permite condensar la información disponible en un número mucho menor de variables (factores), que están relacionadas con las variables originales y que explican la mayor parte de la varianza de éstas (ACP del tipo R).

Las variables primitivas que caracterizan fundamentalmente los factores deducidos se indican para cada vertedero en la Tabla 6.28. Esta tabla ha sido confeccionada a partir de la información suministrada por las matrices rotadas que se muestran, también para cada vertedero considerado, en la Tabla 6.29. En estas matrices rotadas se representan las saturaciones factoriales (cargas o ponderaciones), que indican el peso que cada variable asigna a cada factor. Cuando hay variables con saturaciones altas de un factor significa que están asociadas a este factor. Como criterio de extracción de factores se ha considerado el hecho de que sus valores propios (eigenvalues) sean mayores que 1.

El porcentaje de la varianza explicada con los factores considerados es bastante alto. Los 3 primeros factores explican entre un 62,8 (Ventas) y un 77,9% (Sasieta) de las varianzas totales. En la Tabla 6.30 se presentan para cada vertedero los valores propios de cada factor considerado, las varianzas explicadas para cada uno de ellos así como las varianzas acumuladas. Como se ve, no produce una pérdida importante de información.

LAPATX			
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**
S.S.	0,8931	0,1792	0,0776
Fe	0,8856	0,2613	0,1059
Al	0,7085	-0,1325	0,0142
Turb.	0,6565	0,5775	-0,0056
DQO	-0,0674	0,7880	0,2835
pH	-0,1019	-0,7052	0,2010
Mn	0,3986	0,6666	0,3384
Zn	0,3687	0,6115	-0,0403
Cond.	0,0943	0,0782	0,9451
Cl^-	0,0550	0,1936	0,8628
NH_4^+	0,2339	-0,5655	0,6150
PO_4^{3-}	-0,3978	-0,2398	0,4603

SAN MARCOS			
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**
Cond.	0,9512	0,1074	0,0407
Cl^-	0,8880	0,1313	0,0570
NH_4^+	0,8036	0,0722	0,0476
PO_4^{3-}	0,7181	-0,3497	0,0956
S.S.	-0,1659	0,8346	0,1899
Turb.	-0,4589	0,7454	0,1447
Al	0,0541	0,6366	-0,0755
Zn	0,2385	0,5718	0,1403
DQO	0,3256	0,5213	0,2755
pH	0,0461	0,1500	-0,8609
Fe	0,0373	0,3484	0,8341
Mn	0,2060	0,2368	0,7648

PETRITEGI			
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**
Cond.	0,8968	0,0581	0,2401
Cl^-	0,8341	-0,2928	-0,0570
DQO	0,8292	0,1432	0,2103
PO_4^{3-}	0,6605	0,0404	0,4725
pH	0,5785	-0,1893	-0,2656
NH_4^+	0,5536	-0,1729	0,4591
S.S.	-0,1552	0,8300	0,0898
Fe	0,2068	0,8005	0,3335
Turb.	-0,2912	0,7397	0,2250
Al	0,6120	0,6148	-0,1865
Zn	-0,1980	-0,1818	-0,7995
Mn	-0,0915	0,3588	0,6762

VENTAS				
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**	**Factor 4**
Cond.	0,9052	0,3107	-0,0101	0,0266
Cl^-	0,8751	0,0402	-0,0046	0,1241
NH_4^+	0,7055	-0,1291	-0,0133	-0,2052
PO_4^{3-}	0,6271	0,4305	-0,1041	-0,0127
pH	0,1268	0,8715	-0,2067	0,0966
Mn	0,0431	-0,8599	-0,1561	0,1741
DQO	0,3200	0,7516	0,0219	0,3153
Al	0,0578	0,1528	0,7266	-0,3020
S.S.	-0,1667	-0,2228	0,7086	0,2743
Fe	0,4136	0,2824	0,5366	0,3562
Turb.	-0,4734	-0,3527	0,5278	0,1825
Zn	-0,0668	0,0574	0,0539	0,8919

URTETA			
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**
S.S.	0,8550	0,1607	-0,0082
Fe	0,8542	0,1366	0,1575
Turb.	0,8502	0,1733	0,1760
Al	0,7689	-0,0760	-0,1281
Mn	0,6081	0,0974	0,1188
Cl^-	0,1895	0,9279	0,0617
Cond.	0,2703	0,8971	0,1879
NH_4^+	0,2040	0,8963	0,2050
pH	-0,0640	0,8036	-0,1043
PO_4^{3-}	-0,0850	0,3386	0,8485
Zn	0,6331	-0,0763	0,6363
DQO	0,2902	-0,5626	0,5636

SASIETA			
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**
Mn	0,8802	-0,0897	0,0772
Turb.	0,8705	0,2785	0,1995
Fe	0,8224	0,3340	0,2567
pH	-0,7576	0,4007	0,0707
Zn	0,7046	0,0184	0,2074
S.S.	0,6298	-0,0614	-0,1037
Cond.	0,0165	0,9657	0,1244
Cl^-	0,0121	0,9297	0,1997
NH_4^+	-0,3029	0,8496	0,1633
PO_4^{3-}	0,3722	0,7995	-0,1400
Al	0,0444	0,0720	0,9256
DQO	0,5265	0,3192	0,6375

SAN BLAS				
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**	**Factor 4**
NH_4^+	0,8761	0,0106	-0,0068	0,1118
Cond.	0,8042	-0,3196	0,2746	0,1894
Cl^-	0,6356	-0,0363	-0,1671	0,0327
Turb.	-0,5028	0,3403	-0,4433	-0,3391
Fe	-0,0442	0,8590	0,2634	0,0771
S.S.	-0,1872	0,8002	-0,0733	0,2978
Al	-0,0125	0,7869	0,0808	-0,1369
Mn	-0,1397	0,1586	0,8698	-0,2288
DQO	0,5073	0,2082	0,6814	-0,0494
PO_4^{3-}	0,1580	0,0331	-0,0190	0,8393
pH	0,2103	0,0833	-0,4826	0,7455
Zn	-0,4224	0,3766	0,4785	0,4903

Tabla 6.29. Matrices factoriales rotadas resultantes para los 7 ACP efectuados.

LAPATX			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	4,16	34,7	34,7
F-2	2,45	20,4	55,2
F-3	1,72	14,3	69,5

SAN MARCOS			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	3,48	29	29
F-2	3,08	25,7	54,7
F-3	1,55	12,9	67,6

PETRITEGI			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	4,11	34,3	34,3
F-2	3,02	25,2	59,5
F-3	1,19	10	69,5

VENTAS			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	4,02	33,5	33,5
F-2	1,85	15,5	49
F-3	1,65	13,8	62,8
F-4	1,13	9,4	72,2

URTETA			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	4,67	38,9	38,9
F-2	3,05	25,5	64,4
F-3	1,32	11	75,4

SASIETA			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	4,69	39,1	39,1
F-2	3,5	29,2	68,3
F-3	1,15	9,6	77,9

SAN BLAS			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	3,27	27,3	27,3
F-2	2,5	20,9	48,1
F-3	2,09	17,5	65,6
F-4	1,09	9,1	74,7

Tabla 6.30. Valores propios y % de varianza explicada por los factores principales deducidos.

La observación de las variables que caracterizan en cada caso a los distintos factores (Tabla 6.29) permite realizar una serie de observaciones:

- Los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+ y PO_4^{3-} caracterizan normalmente algunos de los factores. En 2 ocasiones (San Marcos y Ventas) caracterizan el factor I, en una (Sasieta) el factor II, y en otra el III (Lapatx). En el resto de ocasiones también aparecen asociados a estos parámetros algunos otros (casos de Petritegi, Urteta, San Blas), pudiendo quedarse fuera del grupo PO_4^{3-} (Urteta, San Blas).

- Los parámetros S.S., turbidez, Fe y Al también caracterizan frecuentemente algún factor. En 2 ocasiones el factor I (Lapatx y Urteta; en éste último también interviene el Mn). En una ocasión el factor II (Petritegi), y en otra el III (Ventas). En San Blas la turbidez no se asocia a los otros 3 parámetros, que caracterizan el factor II, y en San Marcos y Sasieta, el Fe y Al respectivamente, no se asocian al resto, haciéndolo en cambio otros parámetros.

- Los parámetros DQO, pH, Mn y Zn no presentan entre sí relaciones tan estrechas como los de los 2 grupos citados previamente. En un caso (Lapatx) caracterizan el factor II. En otros 3 casos (Petritegi, San Blas y Ventas), 2 o 3 parámetros integrantes de este grupo caracterizan también algún factor (el II en el caso de ventas, y el III en los de Petritegi y San Blas.

- Sólo en 2 ocasiones (Ventas y San Blas) tiene sentido definir un cuarto factor. En el primer caso está definido únicamente por el Zn, mientras que en el segundo queda definido por Zn, PO_4^{3-} y pH.

6.5.10.6. TRATAMIENTO CONJUNTO DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se ha considerado interesante tratar conjuntamente toda la información disponible

referente al quimismo de los lixiviados generados en vertederos de Gipuzkoa. Ello nos permitirá obtener una visión más global de este quimismo al mismo tiempo que obtener una información muy apreciable por la síntesis que supone.

En la Tabla 6.31 se presenta el resumen estadístico de toda esta información. En total se han considerado 13.271 determinaciones referentes a 38 parámetros. 2.059 determinaciones (15,5%) se situaban por debajo del límite de detección. De 5 de ellos se ha dispuesto de más de 600 determinaciones (pH, conductividad, turbidez, NH_4^+ y DQO). Por el contrario, con menos de 100 determinaciones hay 6 parámetros, destacando Cr^{6+}, sulfuros, CO_3^{2-} y detergentes, con 10 o menos determinaciones.

Sólo 5 de los parámetros se ajustan en estas condiciones a modelos de distribución normal (temperatura, conductividad, CO_3H^-, Na^+ y K^+), mientras que otros 8 siguen distribuciones lognormales (S.S., TOC, Fe, Al, Ca^{2+}, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-}). El resto de parámetros no se ajusta a ninguno de estos 2 tipos de distribuciones. Como se ve en la Tabla 6.24, la temperatura, CO_3H^-, Na^+ y K^+, y también el Al presentan las mismas distribuciones en este caso y en los casos en los que se consideran por separado los datos de cada uno de los vertederos de Gipuzkoa.

Las secuencias de cationes, aniones y metales según sus concentraciones son prácticamente idénticas a la propuestas como "secuencias características" en el apartado 6.5.10.2 (cationes, aniones y metales más característicos):

Cationes: $Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} >> Mg^{2+}$
Aniones: $CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} >>> NO_3^- >>> PO_4^{3-} > NO_2^-$
Metales: Fe >>> Mn > Al >>> Zn > Pb > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg

Respecto a los metales analizados, el Fe es el más abundante (13,6 y 7,54 mg/l como media y mediana respectivamente), seguido por el Mn y Al. El resto de metales analizados (Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg) presentan concentraciones muy bajas, con valores medios menores a 0,17 mg/l y muchas determinaciones por debajo del límite de detección. El Pb y Ni son los relativamente más abundantes de este grupo y el Cd y Hg los menos.

Las concentraciones de los parámetros son bastante altas en muchos casos. Comparando los valores centrales con las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos se observa que se sobrepasan ampliamente los límites permitidos en los parámetros NH_4^+, DQO, DBO_5, Fe, Mn, Al y S.S. (de estos 2 últimos sólo la media). Otros parámetros (Zn, Pb, Cu, Cd, Cl^-, fenoles y Cr^{6+}) también sobrepasan en ocasiones sus respectivas referencias.

Los parámetros que se mantienen siempre por debajo de las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos son: temperatura, pH, Ni, Cr, SO_4^{2-}, CN, P, detergentes y sulfuros.

Matriz de correlación

En la Tabla 6.32 se muestra la matriz de correlación realizada de acuerdo a los criterios enunciados en el apartado 6.5.1. Los mayores coeficientes de correlación se da entre el grupo formado por los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+, NTK, C.a.e., CO_3H^-, Na^+, K^+ , con

LOS 7 JUNTOS		N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	*Ref.1*	Distrib.
1	Temp.	236	-	18,1	18,05	2,78	15,3	16,6	3,4	11,2	16,5	19,9	27,8		normal
2	pH	640	-	7,58	7,70	0,49	6,46	2,6	0,8	6,1	7,2	8	8,7	5,5-9,5	
3	Cond.	644	-	5.555	5.350	2.906	52,3	16.898	3.946	702	3.277	7.223	17.600		normal
4	Turbidez	617	-	47,5	32	59,4	125	669,9	50	0,1	13	63	670		
5	S.S.	593	14 (2,36)	102	40	182	178	-	81	< 2	19	100	1.870	80	log
6	NH_4^+	610	-	373	327	272	72,8	1.839,05	396	0,05	154	550	1.840	15	
7	NTK	353	-	362	358	197	54,3	1.089	309	11	193	502	1.100		
8	DQO	618	1 (0,16)	1.085	766	1.143	105	7.942,5	817	< 15	429	1.246	7.950	160	
9	DBO_5	377	34 (9,01)	233	90	301	129	-	305	< 2	40	345	1.920	40	
10	C.a.e.	423	-	313	252	264	84,3	1.519,5	340	0,5	100	440	1.520		
11	TOC	114	-	215	176	166	77,3	725	184	32	97	281	757		log
12	Fe	587	1 (0,17)	13,6	7,54	20,3	149	175,95	11,45	< 0,1	4,35	15,8	176	2	log
13	Mn	596	1 (0,16)	2,56	2,15	1,9	74,3	14,59	2,34	< 0,02	1,25	3,59	14,6	2	
14	Al	478	27 (5,64)	1,40	0,8	2,1	150	-	1,11	< 0,02	0,4	1,51	22	1	log
15	Zn	583	33 (5,66)	0,27	0,16	0,42	156	-	0,21	< 0,02	0,08	0,29	4,4	3	
16	Pb	267	159 (59,5)	0,17	-	0,35	207	-	-	< 0,02	-	0,08	1,84	0,2	
17	Ni	260	119 (45,7)	0,12	0,05	0,18	145	-	-	< 0,02	-	0,14	0,98	2	
18	Cr	587	140 (23,8)	0,095	0,06	0,12	126	-	0,1	< 0,02	0,02	0,12	1,08	2	
19	Cu	263	101 (38,4)	0,054	0,02	0,079	146	-	-	< 0,02	-	0,05	0,58	0,2	
20	Cd	280	238 (85)	0,027	-	0,036	133	-	-	< 0,02	-	-	0,22	0,1	-
21	Hg	353	329 (93,2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-
22	Na^+	237	-	577	521	330	57	1.524,4	434	75,6	337	771	1.600		normal
23	K^+	233	-	240	237	126	52,3	975	170	25	137	307	1.000		normal
24	Ca^{2+}	231	-	131	121	66	50,3	606,9	68	9,1	92	160	616		log
25	Mg^{2+}	233	-	63,9	54,2	32,5	50,9	172	28,8	11	42,6	71,4	183		
26	CO_3H^-	215	-	2.515	2.550	977	38,8	4.400	1.544	320	1.696	3.240	4.720		normal
27	Cl^-	575	-	843	702	681	80,7	4.986,2	809	23,8	331	1.140	5.010	2.000	
28	SO_4^{2-}	354	51 (14,4)	89,5	44,9	114	127	-	96	< 0,2	20,7	116,7	712	2.000	
29	NO_3^-	352	148 (42)	20,6	6,39	29,9	145	-	-	< 0,1	-	26,8	184		log
30	PO_4^{3-}	543	21 (3,86)	1,43	0,56	2,45	171	-	1,38	< 0,03	0,17	1,55	17		log
31	NO_2^-	67	3 (4,4)	1,18	0,5	1,52	128	-	1,41	< 0,003	0,16	1,57	6,08		log
32	CN	518	502 (96,9)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-
33	Fenoles	181	130 (71,8)	0,21	-	0,67	318	-	-	< 0,1	-	0,125	7,3	0,5	
34	P	21	-	2,48	1,04	2,87	115	9	2,89	0,5	0,75	3,64	9,5	10	
35	Deterg.	6	-	0,81	0,85	0,49	60,2	1,33	0,83	0,2	0,33	1,16	1,53	2	-
36	Sulfuros	9	-	0,071	0,072	0,02	28,1	0,061	0,039	0,042	0,051	0,091	0,103	1	-
37	Cr^{6+}	10	7 (70)	0,098	-	0,13	130	-	-	< 0,1	-	0,075	0,44	0,2	-
38	CO_3^{2-}	7	-	51,9	47,1	22,7	43,8	60,7	41,1	19,7	35,9	77	80,4		-
	TOTAL	13.271	2.059 (15,5)												

Tabla 6.31. Resumen estadístico de las variables analizadas. Vertederos de Gipuzkoa.

valores normalmente superiores a 0,6. Los mayores coeficientes se dan entre Cl^- y Na^+ (0,95) y entre conductividad y Na^+ (0,94). Los PO_4^{3-} también se correlacionan con los parámetros de este grupo salvo con Cl^- y Na^+.

El resto de los iones considerados (Ca^{2+}, SO_4^{2-} y NO_3^-) no presentan ningún tipo de relación significativa con los parámetros anteriores ni con ningún otro. Tampoco los metales Mn, Al, Zn, Cr y Cu se relacionan aceptablemente con ningún parámetro, al igual que la turbidez.

La DQO, DBO_5 y TOC también forman un grupo de parámetros bien correlacionados. La DQO presenta también coeficientes destacables con C.a.e., Ca^{2+} y conductividad, así como el TOC con C.a.e..

Respecto a los metales, cabe mencionar los coeficientes entre el grupo formado por el Ni, Cd y Pb, aunque en este caso hay que tener en cuenta el elevado número de determinaciones situadas por debajo del límite de detección. Otras correlaciones de interés se dan entre el Fe con S.S. y entre pH y temperatura con K^+.

LOS 7 JUNTOS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	HCO3	Na	K	Ca	Mg	TOC	
1 Temp.	1																									202				Temp.
2 pH		1																								231				pH
3 Cond.			1			571	606	352	540	615		423												215	237	233				Cond.
4 Turb.				1																										Turb.
5 S.S.					1									565																S.S.
6 Cl			0,83			1	573	339				410												212	235	231				Cl
7 NH4			0,78			0,55	1	342	541			416												215	237	233		233		NH4
8 NTK			0,88			0,70	0,90	1	325			261												201	222	219		222		NTK
9 PO4			0,61				0,57	0,58	1			395														217				PO4
10 DQO			0,51							1	375	421															231		114	DQO
11 DBO5										0,52	1																		83	DBO5
12 C.a.e.			0,79			0,64	0,68	0,67	0,54	0,52		1												131		135			63	C.a.e.
13 Al													1																	Al
14 Fe					0,50									1																Fe
15 Mn															1															Mn
16 Zn																1														Zn
17 Cr																	1													Cr
18 Cu																		1												Cu
19 Ni																			1	259	244									Ni
20 Cd																			0,87	1	264									Cd
21 Pb																			0,75	0,78	1									Pb
22 NO3																						1								NO3
23 SO4																							1							SO4
24 CO3H			0,83			0,55	0,90	0,90				0,60												1	214	211		211		CO3H
25 Na			0,94			0,95	0,82	0,79																0,67	1	233				Na
26 K	0,57	0,52	0,71			0,50	0,75	0,77	0,61			0,85												0,77	0,60	1				K
27 Ca										0,57																	1			Ca
28 Mg																								0,71				1		Mg
29 TOC										0,78	0,70	0,53																	1	TOC

Tabla 6.32. Matriz de correlación. Vertederos de Gipuzkoa.

Análisis Cluster y ACP

Se han aplicado ambas técnicas en dos ocasiones. En la primera se han considerado únicamente las 12 variables analizadas más habitualmente. De esta forma podremos comparar los resultados obtenidos en estos casos con los obtenidos al aplicar estas técnicas considerando por separado la información de cada vertedero (apartado 6.5.10.5). En la segunda ocasión, se han considerado 21 variables. Aparte de las 12 variables citadas, se consideran la temperatura, C.a.e., CO_3H^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} y NO_3^-. En este segundo caso, el número de muestras que disponen de datos para las 21 variables consideradas es de 93, con lo que se cumple el requerimiento de que el número de casos sea suficientemente mayor que el de variables.

Los 2 dendogramas realizados se presentan en la Figura 6.28. En el primero de ellos (se consideran sólo las 12 variables), se diferencia claramente la existencia de 2 familias de parámetros. La primera familia está formada por los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+ y PO_4^{3-}. La DQO y pH también se asocian en menor medida a dichos parámetros. Las máximas correlaciones se dan entre la conductividad y Cl^-. La segunda familia la constituyen el resto de parámetros. De entre ellos, el Al y Zn son los que menor relación presentan con el resto.

Como se aprecia, estas 2 familias coinciden básicamente con las que podían diferenciarse en el caso de cada vertedero por separado (Tabla 6.27). La única particularidad quizás sea la pertenencia de la DQO a la primera familia definida en vez de a la segunda.

En el segundo de los dendogramas, realizado considerando 21 variables, pueden diferenciarse hasta un total de 5 familias:

- Primera: Conductividad, NH_4^+, CO_3H^-, Cl^-, Na^+. Entre estos parámetros se dan las mayores correlaciones.
- Segunda: C.a.e., K^+, DQO, PO_4^{3-}, Mg^{2+}.
- Tercera: pH, SO_4^{2-}, temperatura.
- Cuarta: Fe, S.S., turbidez, Al, Mn.
- Quinta: Ca^{2+} y Zn.

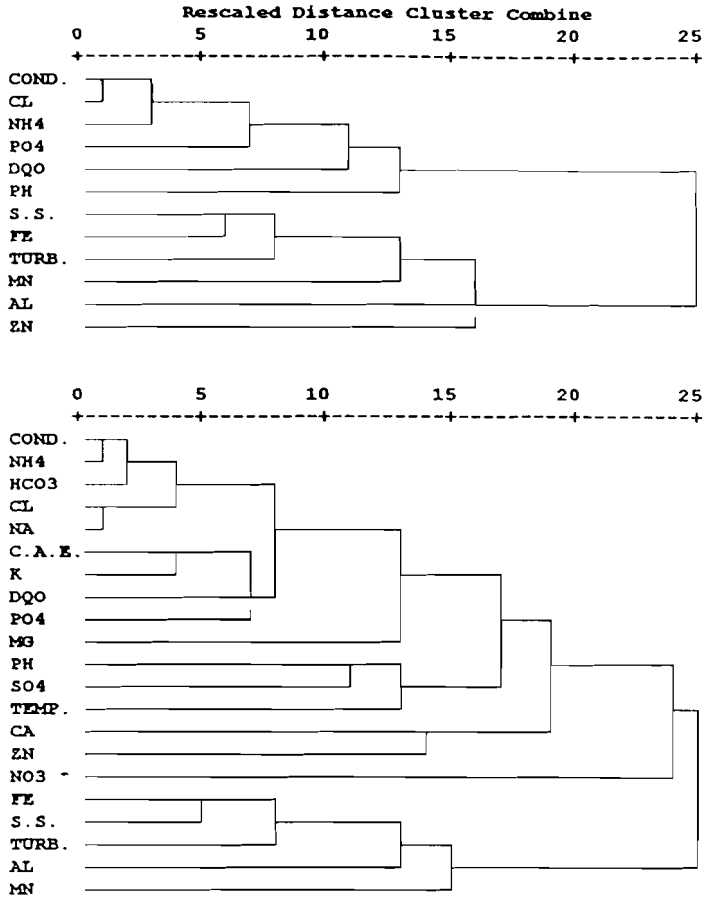


Figura 6.28. Dendogramas de variables (considerando conjuntamente los 7 vertederos de Gipuzkoa).

Las 2 primeras familias forman posteriormente una única agrupación, pudiéndose considerar incluso como una única familia. El NO_3^- no se asocia a ninguna otra variable y no forma parte, por tanto, de ninguna familia.

Como conclusiones a este análisis Cluster pueden citarse:

- Las relaciones existentes entre la conductividad y la mayoría de los iones mayoritarios (salvo con SO_4^{2-} y Ca^{2+} que presentan comportamientos diferentes).

- Las relaciones existentes entre los parámetros relacionados con la degradación de la materia orgánica (DQO, C.a.e., e iones como NH_4^+ y PO_4^{3-}) con la conductividad y resto de iones mayoritarios (salvo con los ya mencionados SO_4^{2-} y Ca^{2+}). En cambio, los NO_3^-, parámetro también relacionado con la degradación de la materia orgánica, no se asocian a ninguno de estos parámetros.

- Los metales también se asocian entre sí de forma general (sobre todo Fe, Mn y Al), así como con S.S. y turbidez.

Respecto al análisis por componentes principales (ACP), en la Tabla 6.33 se muestran las matrices factoriales rotadas para los 2 análisis efectuados así como los valores propios y los % de varianza explicada por cada uno de los factores deducidos.

LOS 7 JUNTOS (21 variables)					
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**	**Factor 4**	**Factor 5**
Cond.	0,952	-0,210	-0,045	0,119	0,050
NH_4^+	0,948	-0,100	0,143	0,168	-0,059
CO_3H^-	0,923	0,051	0,149	-0,055	-0,215
Na^+	0,887	-0,256	-0,197	0,077	0,060
Cl^-	0,849	-0,215	-0,233	0,111	0,231
K^+	0,736	0,028	0,544	0,222	0,076
C.a.e.	0,695	-0,092	0,386	0,410	0,100
DQO	0,668	0,265	0,050	0,510	0,263
Mg^{2+}	0,629	0,021	0,356	-0,563	-0,215
S.S.	-0,091	0,856	-0,012	0,001	0,233
Fe	0,007	0,855	-0,333	-0,051	0,050
Turb.	-0,185	0,742	-0,384	-0,265	-0,183
Al	-0,246	0,553	-0,055	0,208	0,042
NO_3^-	-0,221	-0,526	-0,031	-0,499	0,511
Mn	0,123	0,171	-0,850	0,032	0,159
SO_4^{2-}	-0,209	-0,179	0,717	0,085	0,431
pH	0,351	-0,385	0,670	-0,082	-0,065
Temp.	0,279	-0,080	0,536	0,189	0,376
PO_4^{3-}	0,473	-0,142	0,252	0,710	0,010
Zn	-0,007	0,164	0,089	0,035	0,832
Ca^{2+}	0,229	0,132	-0,047	0,428	0,464

LOS 7 JUNTOS (12 variables)			
	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**
Cond.	0,936	-0,066	-0,097
Cl^-	0,875	-0,096	0,140
NH_4^+	0,825	-0,007	-0,165
PO_4^{3-}	0,765	0,055	-0,254
DQO	0,671	0,295	0,128
S.S.	-0,171	0,811	0,180
Al	0,146	0,760	-0,116
Fe	0,070	0,746	0,422
Turb.	-0,493	0,546	0,390
Mn	-0,031	0,109	0,880
pH	0,477	-0,146	-0,684
Zn	0,190	0,395	0,419

LOS 7 JUNTOS (12 variables)			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	4,26	35,5	35,5
F-2	2,88	24	59,6
F-3	1,09	9,1	68,6

LOS 7 JUNTOS (21 variables)			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	7,69	36,7	36,7
F-2	3,61	17,2	53,9
F-3	2,43	11,6	65,5
F-4	1,70	8,1	73,6
F-5	1,22	5,8	79,5

Tabla 6.33. Matrices factoriales rotadas y valores propios y % de varianza explicada por los factores deducidos considerando conjuntamente la información de los 7 vertederos de Gipuzkoa.

El porcentaje de la varianza explicada con los factores considerados es bastante alto. En el análisis realizado considerando 12 variables (404 muestras), con los 3 primeros factores se explica el 68,6% de la varianza total. En el segundo ACP (21 variables, 93 muestras), con los 3 primeros factores se explica el 65,5% de la varianza. En este caso se han extraído 5 factores (con eigenvalores >1), explicándose con estos 5 factores un total del 79,5% de la varianza. Como se aprecia, la aplicación de esta técnica estadística no produce una pérdida importante de información.

La observación de las variables que caracterizan en cada caso a los distintos factores permite realizar una serie de observaciones. En el primer análisis efectuado se observa que:

- Los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-} y DQO caracterizan el factor I. Esto está en consonancia con las conclusiones deducidas de los ACP realizados para cada vertedero por separado. Como en el caso del análisis Cluster aplicado a esta misma información de partida, la única particularidad quizás sea la asociación de la DQO con los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+ y PO_4^{3-}.

- Los parámetros S.S., Al, Fe y turbidez caracterizan el factor II. Por último, el tercer factor se asocia al Mn, pH y Zn, aunque estos 2 últimos parámetros también presentan saturaciones factoriales importantes con los factores I y II respectivamente. También esta asociación de parámetros está en consonancia con los resultados de los ACP realizados para cada vertedero.

En el segundo análisis efectuado (21 variables) se diferencian 5 factores:

- Factor I: relacionado con conductividad, NH_4^+, CO_3H^-, Na^+, Cl^-, K^+, C.a.e., DQO y Mg^{2+}.
- Factor II: relacionado con S.S., Fe, turbidez, Al, NO_3^-.
- Factor III: relacionado con Mn, SO_4^{2-}, pH y temperatura.
- Factor IV: relacionado con PO_4^{3-}.
- Factor V: relacionado con Zn y Ca^{2+}.

Las conclusiones de este análisis son muy similares a las deducidas del análisis Cluster realizado a partir de la misma información:

- Destacan las relaciones existentes entre la conductividad, la mayoría de los iones mayoritarios (salvo con SO_4^{2-} y Ca^{2+} que presentan comportamientos diferentes) y otros parámetros relacionados con la degradación de la materia orgánica como la DQO y C.a.e, además de con NH_4^+ y PO_4^{3-} (incluidos dentro de los iones mayoritarios). Los NO_3^-, en cambio, no se asocian a ninguno de estos parámetros.

- Los metales también se asocian entre sí de forma general (sobre todo Fe, Al), así como con S.S. y turbidez. En este caso el Mn se asocia más con los SO_4^{2-}, pH y temperatura, y el Zn al Ca^{2+}.

- Algunos parámetros como NO_3^-, PO_4^{3-} y Ca^{2+} presentan saturaciones factoriales similares con varios factores por lo que no quedan perfectamente definidos en este análisis factorial.

Como complemento a los 2 ACP realizados, se ha representado la distribución de las muestras consideradas en los mismos en los planos factoriales definidos en cada caso por los factores I y II. En términos teóricos estaríamos aplicando un ACP del tipo Q, en el que lo que se define son los factores en el espacio de los individuos en vez de en el de las variables. Esta técnica permite poner en evidencia las diferencias de quimismo entre los lixiviados de los vertederos considerados.

En las Figuras 6.29 y 6.30 se presentan las distribuciones de las muestras, así como de las variables, en los planos factoriales I-II. En la primera de ellas (12 variables consideradas) se representa por separado la distribución de las muestras de cada vertedero al objeto de permitir una mejor visión de las nubes de puntos. En la segunda, el menor número de muestras consideradas, permite representar en las mismas figuras las muestras de 2 o 3 vertederos.

En las distintas gráficas de ambas figuras puede apreciarse la considerable dispersión de las muestras de los 7 vertederos, lo que indica las importantes diferencias de quimismo entre muestras de lixiviados de un mismo vertedero. A pesar de ello, pueden establecerse diferencias entre los vertederos según la distribución de sus muestras.

Así, se aprecia cómo las muestras de Lapatx y Urteta son las que presentan menores concentraciones en los parámetros que caracterizan los factores I (conductividad, Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-} y DQO en el primer caso, y estos mismos parámetros más CO_3H^-, Na^+, K^+, C.a.e. y Mn en el segundo). Por contra, las muestras procedentes de Ventas, y en menor medida las de Petritegi, son las que presentan mayores concentraciones en estos parámetros.

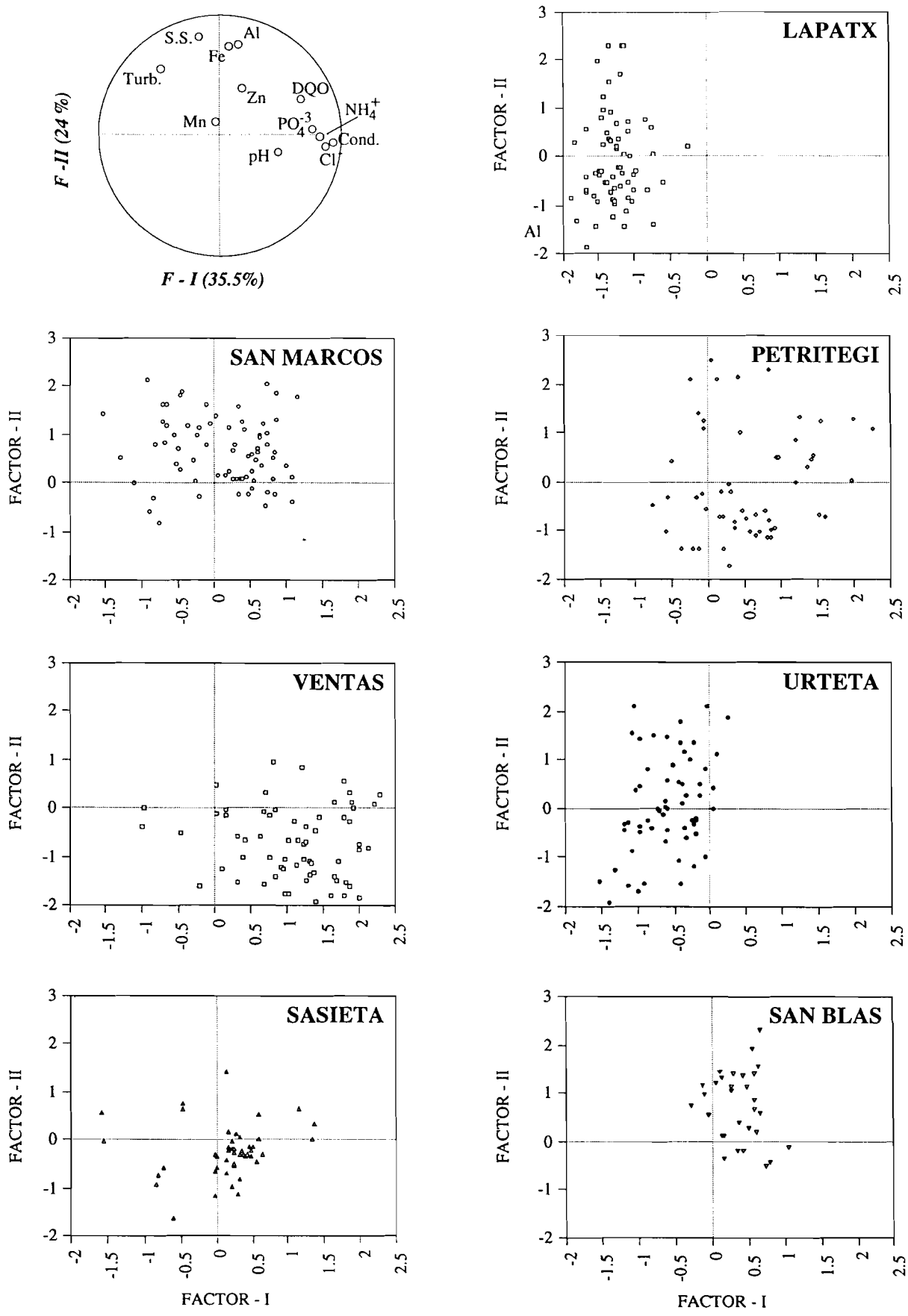


Figura 6.29. Distribución de variables y muestras en el plano factorial I -II. Vertederos de Gipuzkoa (12 variables).

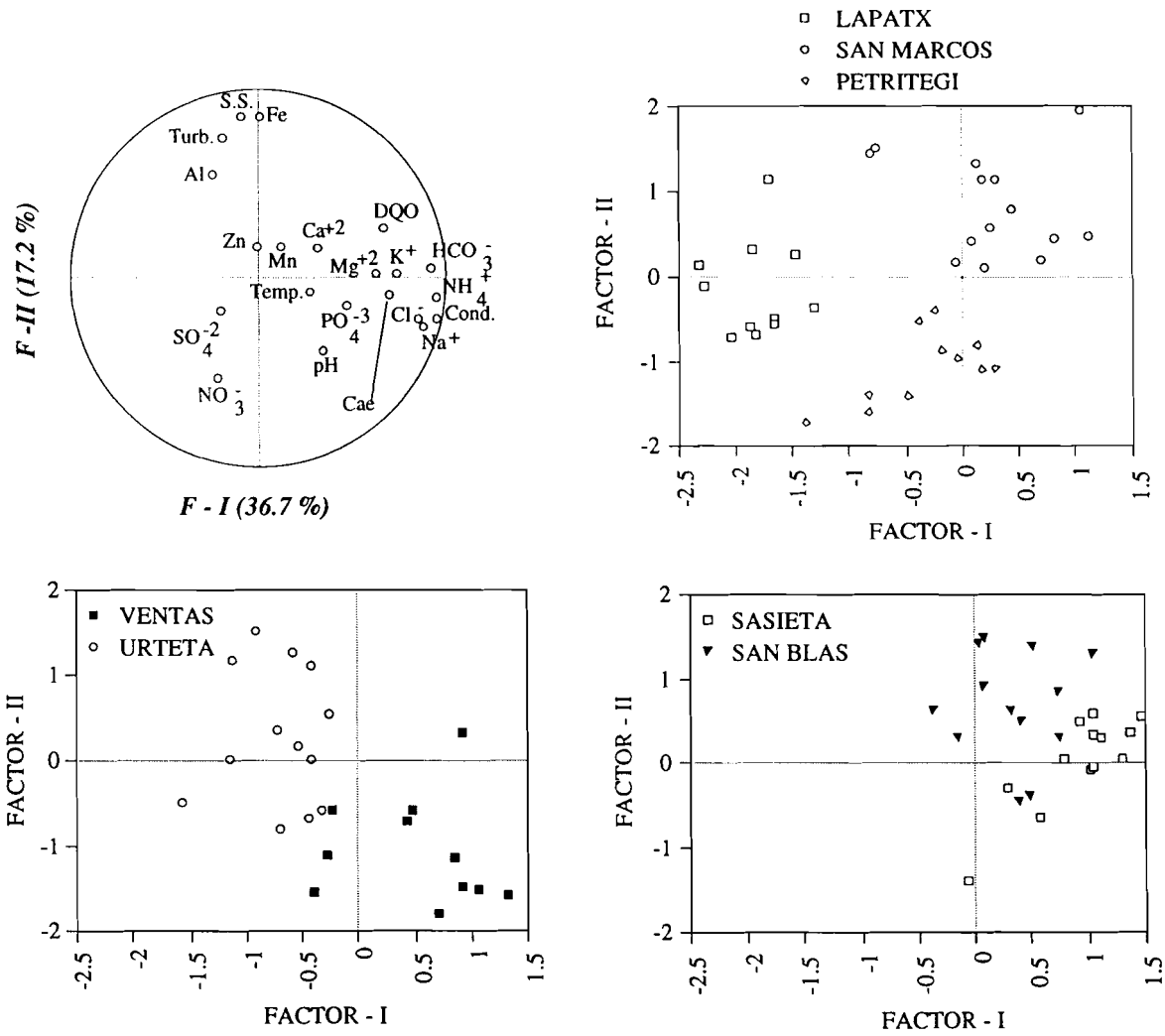


Figura 6.30. Distribución de variables y muestras en el plano factorial I-II. Vertederos de Gipuzkoa (21 variables).

Las muestras de los otros 3 vertederos, San Marcos, Sasieta y San Blas, ocupan posiciones centrales en las gráficas de la Figura 6.29, mientras que en las de la Figura 6.30, ocupan posiciones más escoradas hacia la parte positiva del Factor I, lo que indica que la interpretación de su quimismo mediante esta técnica está bastante condicionada por el número de muestras que se considere, lo que es consecuencia de la importante variabilidad existente entre muestras recogidas en estos vertederos. En el apartado 6.6 de este capítulo se tratará más ampliamente las diferencias de quimismo entre los lixiviados de estos vertederos.

6.5.10.7. COMPARACIÓN CON LOS LIXIVIADOS DE GÓNGORA

El vertedero de Góngora es el único vertedero de los estudiados no situado en Gipuzkoa. El estudio de sus lixiviados tiene especial interés dado que este vertedero presenta una serie de peculiaridades con respecto a los de Gipuzkoa.

En primer lugar se caracteriza por recibir unas cantidades muy superiores de residuos (sólo en San Marcos se vierten cantidades similares), especialmente residuos domiciliarios (capítulo 2; Tabla 2.7) con mayor contenido en materia orgánica por haberse realizado una recogida selectiva y que en contacto con el agua infiltrada pueden aportar cantidades

importantes de contaminantes. Por otra parte, el vertedero se encuentra en un área en el que las condiciones climáticas son bastante diferentes a las de Gipuzkoa, especialmente en lo referente a las condiciones de pluviometría y temperatura.

En las Figura 2.11 y 2.13 (capítulo 2) puede apreciarse las diferencias entre los valores de precipitación media anual registradas en la estación emplazada en este vertedero y las registradas en las estaciones cercanas a los de Gipuzkoa. Estas diferencias sobrepasan en todos los casos los 500 mm. anuales, cantidad muy considerable. Debido a ello, los caudales de lixiviados (que también han sido controlados en continuo), son bastante inferiores a los que se generan en los vertederos de Gipuzkoa.

Como ya se ha comentado en el apartado 6.5.9 la información existente se refiere a 22 parámetros (no se dispone de datos referentes a cationes y aniones mayoritarios, turbidez, PO_4^{3-}, Hg, CN y fenoles).

En la Tabla 6.24 junto con la distribución que siguen los parámetros comunes analizados en los 7 vertederos de Gipuzkoa y los parámetros considerando conjuntamente toda la información de esos 7 vertederos, también se presenta los modelos de distribución que siguen los parámetros en el caso de Góngora.

De los parámetros considerados 9 siguen modelos de distribución normal: temperatura, pH, conductividad, $N\text{-}NH_4^+$, NTK, DBO_5, TOC, Fe, Mn. De éstos, 3 (temperatura, NTK y TOC) también presentan distribuciones normales en todos los vertederos de Gipuzkoa. Otros 3 parámetros se ajustan a distribuciones lognormales (S.S., Al y Zn), al igual que en todos los casos de Gipuzkoa. En cambio, otros 4 no siguen ninguna de las 2 distribuciones (DQO, Pb, Ni, Cr), mientras que en los vertederos de Gipuzkoa suelen presentar distribuciones lognormales.

Las concentraciones de la mayor parte de los parámetros son muy elevadas en el vertedero de Góngora. La comparación de los valores centrales de los distintos parámetros con los obtenidos al considerar conjuntamente toda la información referente a vertederos de Gipuzkoa (Tabla 6.34), nos permite sacar varias conclusiones:

- La carga orgánica de los lixiviados de Góngora es muy considerable: La DQO es unas 6 veces superior; la DBO_5 unas 15 veces y TOC unas 7 veces (si consideramos las medianas las diferencias son todavía mayores).

- Los S.S. también son superiores (unas 4 veces las medias y unas 7 las medianas), así como las temperaturas (aproximadamente 1 °C).

- El Fe, metal más abundante, también es bastante superior (entre 4 y 6 veces), y el Zn es hasta 23 veces superior (medias). En cambio, el Mn es superior en general en los vertederos de Gipuzkoa.

- Las valores de pH, NH_4^+ y NTK son también normalmente algo superiores en los vertederos de Gipuzkoa.

- El resto de parámetros (conductividad, Al, Ni, Pb, Cr, Cu, Cd y P) presentan valores muy similares.

	GONGORA		*LOS 7 JUNTOS*	
	Media	**Mediana**	**Media**	**Mediana**
Temp.	19,7	19	18,1	18,05
pH	6,9	6,9	7,58	7,70
Cond.	5.660	5.480	5.555	5.350
S.S.	339	285	102	40
NH_4^+	296	302	373	327
NTK	288	295	362	358
DQO	6.584	5.839	1.085	766
DBO_5	3.748	3.732	233	90
Al	1,65	0,8	1,40	0,8
Fe	61,1	50	13,6	7,54
Mn	1,98	1,8	2,56	2,15
Zn	3,49	2,65	0,27	0,16
Cr	0,081	0,1	0,095	0,06
Cu	0,043	-	0,054	0,02
Ni	0,185	0,1	0,12	0,05
Cd	-	-	0,027	-
Pb	0,108	-	0,17	-
TOC	1.588	1.325	215	176
P	2,1	1,8	2,48	1,04

Tabla 6.34. Comparación de los valores centrales: Góngora y vertederos de Gipuzkoa (conjuntamente).

En relación a los metales, también es de destacar el hecho de que el Zn sea el segundo metal más abundante por delante del Mn y del Al. También llama la atención que el Ni sea más abundante que el Pb a diferencia de lo que ocurre en todos los vertederos de Gipuzkoa. El Cd es el menos abundante (siempre se encuentra por debajo del límite de detección del aparato de medida).

Esta secuencia de metales es novedosa con respecto a los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa.

Góngora: Fe >>> Zn > Mn > Al > Ni > Pb > Cr > Cu > Cd
Gipuzkoa: Fe >>> Mn >> Al >>> Zn > Pb > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg

Respecto a la evolución temporal de los principales parámetros analizados (DQO, conductividad, $N\text{-}NH_4^+$, pH, P, S.S. y TOC, Figura 6.23, y Al, Fe, Mn, Zn, Cr y Ni, Figura 6.24) cabe realizar varias observaciones:

- No se distinguen tendencias en ninguna de las evoluciones presentadas. Las variaciones son importantes y continuas en todos ellos. Únicamente llama la atención la escasa variación que experimentan el Ni y Cu, que presentan valores muy bajos excepto en un par de casos.

- La DQO se mantiene dentro del mismo rango de variación durante el periodo estudiado, sin que aparezcan periodos en los que se produzca una homogeneización de sus valores como ocurría en algunos vertederos de Gipuzkoa.

- En las evoluciones de la conductividad y $N\text{-}NH_4^+$ no se producen incrementos o descensos progresivos en el tiempo, a diferencia también de lo que ocurría en algunos vertederos de Gipuzkoa. La evolución del pH tampoco experimenta homogeneización de sus valores en ningún momento.

- A excepción de la DQO, N-NH_4^+ y conductividad, y del Zn y Mn, que parecen tener evoluciones en parte similares, no se aprecian relaciones entre las evoluciones del resto de parámetros. En los vertederos de Gipuzkoa también era habitual la existencia de relaciones entre las evoluciones de N-NH_4^+ y conductividad, aunque no con las de DQO. En cambio, entre los metales no se apreciaban relaciones a excepción de la coincidencia de algunos picos puntuales.

- Sí se manifiesta una relación inversa entre los caudales de lixiviados registrados y las concentraciones de los distintos parámetros (en los vertederos de Gipuzkoa esta relación era mucho menos evidente). El ejemplo más claro de esta relación se observa en los análisis de finales de Diciembre de 1993 y en los de Enero de 1994 en los que coincidiendo con grandes caudales, los valores de los parámetros sufren importantes descensos. En otros casos también se aprecian incrementos de los valores de DQO, conductividad y N-NH_4^+, coincidiendo con periodos de caudales muy bajos (análisis de Noviembre y Diciembre de 1994).

En relación a los grupos de parámetros relacionados entre sí (deducidos según sus coeficientes de correlación), cabe estacar los siguientes:

- conductividad, NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, Fe, Mn y TOC.
- Zn, Pb y P.

Como se ve, en este vertedero se correlacionan entre sí parámetros que también solían estar relacionados en la mayoría de los vertederos de Gipuzkoa: conductividad, NH_4^+ y NTK; Fe y Mn; parámetros indicativos de contaminación orgánica (NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5 y TOC). En este caso se da la particularidad de que todos ellos se integran en un único grupo y no en varios como era lo habitual.

Análisis por componentes principales

La realización de un ACP considerando únicamente las variables analizadas más frecuentemente (pH, conductividad, S.S., NH_4^+, DQO, Fe, Mn, Al y Zn), permite corroborar estas observaciones. Como se aprecia en la Tabla 6.35, los parámetros: conductividad, DQO, Fe, Mn y NH_4^+ se asocian entre sí al caracterizar el factor I. En este ACP, realizado a partir de 73 muestras, también se deducen otros 2 factores, uno definido por Al y S.S., y otro relacionado con el pH y Zn (entre los 3 factores explican el 80,1% de la varianza muestral).

La realización de otro ACP en el que se considera conjuntamente información referente tanto del vertedero de Góngora como de los 7 vertederos de Gipuzkoa, también permite poner de manifiesto las diferencias de quimismo generales existentes entre ellos. En este ACP se han considerado 9 variables y 498 muestras distribuidas de la forma siguiente:

Lapatx: 70	San Marcos: 77
Petritegi: 60	Ventas: 72
Urteta: 63	Sasieta: 51
San Blas: 31	TOTAL GIPUZKOA: 424
	GÓNGORA: 74

La matriz rotada resultante de este ACP así como los valores propios y la varianza

explicada por cada uno de los 2 factores extraídos se presenta también en la Tabla 6.35. En este caso, el factor I está caracterizado por los parámetros Fe, Zn, S.S., DQO, y en menor medida, Al y Mn. El segundo factor se relaciona, por su parte, con la conductividad, NH_4^+ y pH. La varianza total explicada por ambos factores es del 61,5%.

La representación de las muestras consideradas en el plano factorial I-II (ACP tipo Q) se presenta en la Figura 6.31. En esta figura no se establece ninguna diferencia entre las muestras de los distintos vertederos de Gipuzkoa al objeto de resaltar las diferencias con respecto a las muestras de Góngora. Se observa con claridad cómo las muestras de Góngora se sitúan en la parte derecha de la figura (valores más positivos respecto al Factor I), lo que indica concentraciones elevadas en los parámetros que caracterizan a dicho factor (Fe, Zn, S.S. y DQO fundamentalmente). Por contra, las muestras correspondientes a los vertederos de Gipuzkoa ocupan una amplia zona central, lo que se relaciona con valores sensiblemente inferiores en esos mismos parámetros.

GONGORA			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	4,26	47,4	47,4
F-2	1,66	18,5	65,9
F-3	1,27	14,1	80,1

	Factor 1	**Factor 2**	**Factor 3**
Cond.	0,932	-0,089	0,197
DQO	0,911	-0,072	-0,006
Fe	0,905	0,111	-0,163
Mn	0,876	0,146	0,001
NH_4^+	0,738	-0,079	0,474
Al	-0,348	0,882	0,029
S.S.	0,230	0,724	-0,138
pH	-0,168	-0,291	0,840
Zn	0,404	0,374	0,646

LOS 8 JUNTOS			
	Valor propio	**% var.**	**% acum.**
F-1	3,25	36,2	36,2
F-2	2,27	25,2	61,5

	Factor 1	**Factor 2**
Fe	0,878	-0,024
Zn	0,807	0,012
S.S.	0,773	-0,214
DQO	0,711	0,429
Al	0,437	0,081
Mn	0,376	-0,243
Cond.	0,120	0,932
NH_4^+	-0,012	0,881
pH	-0,593	0,604

Tabla 6.35. Matrices factoriales rotadas y valores propios y % de varianza explicada por los factores deducidos considerando los datos de Góngora, y conjuntamente los de los 8 vertederos estudiados.

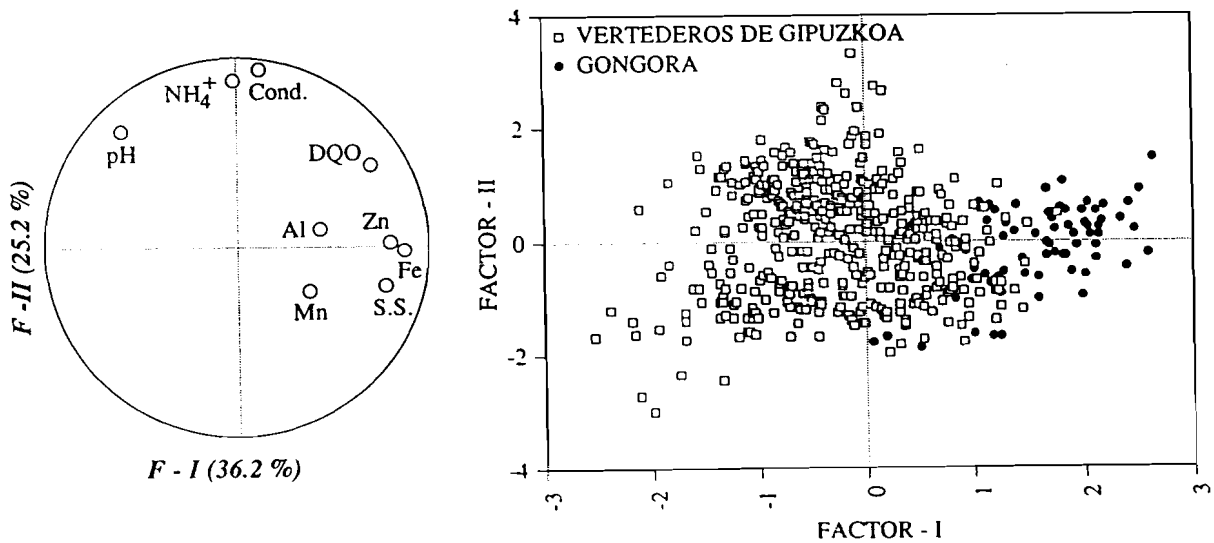


Figura 6.31. Distribución de variables y muestras en el plano factorial I-II. Considerando los 8 vertederos.

A la hora de intentar explicar estas claras diferencias de quimismo entre los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa y Góngora, cabe mencionar dos cuestiones fundamentales: por una parte, el hecho de que los caudales generados en el vertedero de Góngora sean bastante inferiores a los de Gipuzkoa (la dilución es menor). Y por otra, el hecho de que en Góngora se viertan cantidades muy superiores de residuos, especialmente residuos domiciliarios (Tabla 2.7) con mayor contenido en materia orgánica por haberse realizado una recogida selectiva, que en contacto con el agua infiltrada pueden aportar cantidades importantes de contaminantes.

6.5.11. CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS

En la Tabla 6.36 se presentan 5 referencias diferentes relativas a las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces y colectores o en aguas según el uso que se les quiera dar. En los capítulos en los que se ha abordado el quimismo individualizado de los lixiviados generados en cada vertedero, ya se ha hecho mención a las 3 primeras referencias (máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos, y reglamentos de vertido a colectores del Gran Bilbao y de Vitoria-Gasteiz).

También se han incluido en esta tabla las dos referencias restantes como complemento (calidad de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable y calidad de las aguas potables de consumo público), aunque no se comparará en ningún momento el quimismo de los lixiviados con dichas referencias dado que en ningún caso estos efluentes podrían ser destinados a consumo humano.

En la Tabla 6.37 se presentan los valores centrales (medias y medianas) de los parámetros analizados en los lixiviados de cada vertedero conjuntamente con las referencias de vertido que aparecen en la tabla previa. A partir de esta información también se ha confeccionado otra tabla (Tabla 6.38) en la que se listan, en la parte superior y para cada vertedero, aquellos parámetros cuyos valores centrales sobrepasan los límites permitidos en vertidos a cauces públicos, Ref. 1 (misma simbología que en apartados anteriores; * significa que sólo la media y no la mediana cumplen la condición). En la parte inferior se indican los parámetros que siempre se encuentran por debajo de sus límites correspondientes.

Como puede observarse, los parámetros que en mayor medida condicionan la gestión de los lixiviados son NH_4^+, DQO, Fe y DBO_5:

- Los valores centrales de NH_4^+ superan sus concentraciones máximas permitidas entre 6 y 30 veces.

- La DQO presenta de media valores centrales del orden de 6 veces superiores a su límite (el caso extremo es Góngora que lo supera en casi 40 veces).

- Los valores centrales de la DBO_5 no suelen cuadriplicar su límite, aunque en San Marcos es más de 10 veces superior (en Góngora 90 veces).

- Por último, las medias y medianas del Fe suelen superan sus límites permitidos entre 2 y 5 veces (en ocasiones las medias en 10 veces). En Góngora se superan hasta en 25-30 veces.

	Ref. 1	*Ref. 2*	*Ref. 3*	*Ref. 4*	*Ref. 5*	
Temp.		45	50	25	25	**Temp.**
pH	5,5 - 9,5	6 - 9,5	6 - 10	(5,5 - 9)	9,5	**pH**
Cond.				(1.000)	400*	**Cond.**
Turbidez						**Turbidez**
S.S.	80		700			**S.S.**
NH_4^+	15	300	30	4	0,5	**NH_4^+**
NTK			50	(3)	1	**NTK**
DQO	160		1.000	(30)		**DQO**
DBO_5	40		600	(< 7)		**DBO_5**
C.a.e.						**C.a.e.**
TOC						**TOC**
Fe	2*	150	10	(1)	0,2	**Fe**
Mn	2*		2	(1)	0,05	**Mn**
Al	1*		10		0,2	**Al**
Zn	3*	15	5	5	0,1	**Zn**
Pb	0,2*	3	0,7	0,05	0,05	**Pb**
Ni	2*	5	2		0,05	**Ni**
Cr	2*	7,5 (total)	6	0,05	0,05	**Cr**
Cu	0,2*	7,5	0,5	(1)	0,1*	**Cu**
Cd	0,1*	1,5	0,2	0,005	0,005	**Cd**
Hg	0,05*	1,5	0,05	0,001	0,001	**Hg**
Na^+					150	**Na^+**
K^+					12	**K^+**
Ca^{2+}					100*	**Ca^{2+}**
Mg^{2+}					50	**Mg^{2+}**
CO_3H^-						**CO_3H^-**
Cl^-	2.000		2.000	(200)	200	**Cl^-**
SO_4^{2-}	2.000	1.500	2.000	250	250	**SO_4^{2-}**
NO_3^-			20	50	50	**NO_3^-**
PO_4^{3-}			60			**PO_4^{3-}**
NO_2^-					0,1	**NO_2^-**
CN	0,5	2	1	0,05	0,05	**CN**
Fenoles	0,5	50	5	0,1	0,5	**Fenoles**
P	10					**P**
Deterg.	2		12	(0,5)		**Deterg.**
Sulfuros	1	2	10			**Sulfuros**
Cr^{6+}	0,2		0,5			**Cr^{6+}**
CO_3^{2-}						**CO_3^{2-}**

Ref. 1 = R.D. 849/1986. Reglamento del Dominio Público Hidraúlico. Límite en los vertidos a cauces públicos.
(*) = referido al elemento disuelto, como ión o en forma compleja.
Ref. 2= Reglamento regulador del vertido y depuración de las Aguas Residuales del Bajo Nervión- Ibaizabal
Concentraciones máximas admisibles en vertido a colectores.
Ref. 3 = Reglamento regulador del vertido de efluentes a los colectores de Vitoria-Gasteiz. Concentraciones máximas admisibles.
Ref. 4 = R.D. 927/1988. Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica.
Características de calidad de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
Tipo A_3= requieren un tratamiento fisico-químico intensivo, afino y desinfección. ( ) = valores indicativos deseables con carácter provisional.
Ref. 5 = R.D. 1138/1990. Reglamentación Técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas potables de consumo público.
Concentraciones máximas admisibles en aguas de consumo humano. (*) = nivel guía.

Tabla 6.36. Referencias de calidad de efluentes vertidos a cauces públicos y a colectores, de aguas destinadas a la producción de agua potable, y concentraciones máximas admisibles en aguas de consumo humano. Unidades en mg/l, salvo Tª (°C), pH y conductividad (µS/cm).

		LAPATX		S. MARCOS		PETRITEGI		VENTAS		URTETA		SASIETA		SAN BLAS		GONGORA		REFERENCIAS						
		Media	Med.	Media	Med.	Media	Med.	Media	Med.	Media	Med.	Media	Med.	Media	Med.	Media	Med.	*Ref. 1*	*Ref.2*	*Ref.3*	*Ref. 4*	*Ref. 5*		
1	**Temp.**	16,4	16,5	17,7	17,9	20,6	20,2	18,1	18	17,1	17,5	16,7	17,5	20,1	20,5	19,7	19		45	50	25	25	**Temp.**	1
2	**pH**	7,47	7,50	7,19	7,10	7,94	7,90	8,08	8,10	7,31	7,30	7,62	7,50	7,98	8,0	6,9	6,9	5,5 - 9,5	6 - 9,5	6 - 10	(5,5 - 9)	9,5	**pH**	2
3	**Cond.**	2.089	2.060	5.391	5.566	7.417	6.600	8.502	8.694	3.620	3.640	6.575	7.490	5.977	5.870	5.660	5.480				(1.000)	400*	**Cond.**	3
4	**Turbidez**	57,1	42	73,1	52	21,3	10	12,7	5,5	58,2	41	54,6	48	28,2	18	-	-						**Turbidez**	4
5	**S.S.**	53,6	34	135	85	117	21	26,7	18	183	57	50,9	29	164	105	339	285	80		700			**S.S.**	5
6	**NH_4^+**	130	126	338	340	625	570	509	530	168	182	467	550	481	460	296	302	15	300	30	4	0,5	**NH_4^+**	6
7	**NTK**	135	135	383	402	467	468	519	532	189	199	474	492	438	418	288	295			50	(3)	1	**NTK**	7
8	**DQO**	440	206	1.371	1.120	1.531	778	1.664	857	609	465	625	518	1.042	917	6.584	5.839	160		1.000	(30		**DQO**	8
9	**DBO_5**	94	27,5	562	431	171	90	102	50	174	64	129	80	117	70	3.748	3.732	40		600	(< 7)		**DBO_5**	9
10	**C.a.e.**	74,6	65	338	332	385	341	532	470	120	113	309	321	651	608	-	-						**C.a.e.**	10
11	**TOC**	54,9	45	440	449	186	176	216	203	93,7	83	190	160	321	271	1.588	1.325						**TOC**	11
12	**Fe**	13,9	7,48	16,2	15,5	21,3	7,51	4,98	4,43	13,4	8,26	13,2	10,6	11,4	6,72	61,1	50	2*	150	10	(1)	0,2	**Fe**	12
13	**Mn**	2,39	1,81	2,97	2,9	1,61	1,18	2,71	2,44	3,59	3,6	2,74	2,35	1,09	0,98	1,98	1,8	2*		2	(1)	0,05	**Mn**	13
14	**Al**	1,1	0,6	1,60	1,07	2,15	0,9	1,13	0,69	1,37	0,78	0,55	0,42	2,03	1,05	1,65	0,8	1*		10		0,2	**Al**	14
15	**Zn**	0,13	0,08	0,28	0,21	0,34	0,18	0,19	0,13	0,52	0,34	0,15	0,085	0,24	0,16	3,49	2,65	3*	15	5	5	0,1	**Zn**	15
16	**Pb**	0,19	-	0,16	-	0,16	-	0,17	-	0,15	0,05	0,18	-	0,18	-	0,108	-	0,2*	3	0,7	0,05	0,05	**Pb**	16
17	**Ni**	0,10	-	0,12	0,055	0,15	0,08	0,13	0,08	0,10	-	0,13	0,06	0,14	0,045	0,185	0,1	2*	5	2		0,05	**Ni**	17
18	**Cr**	0,046	-	0,079	0,059	0,14	0,08	0,13	0,094	0,054	0,02	0,081	0,06	0,20	0,14	0,081	0,1	2*	7,5 (total)	6	0,05	0,05	**Cr**	18
19	**Cu**	0,029	-	0,034	0,02	0,17	0,14	0,032	0,02	0,032	0,02	0,024	-	0,064	0,04	0,043	-	0,2*	7,5	0,5	(1)	0,1*	**Cu**	19
20	**Cd**	0,028	-	0,024	-	0,029	-	0,027	-	0,026	-	0,031	-	0,028	-	-	-	0,1*	1,5	0,2	0,005	0,005	**Cd**	20
21	**Hg***	0,004		0,051		0,029		0,032		0,018		0,016		< 0,001		-	-	0,05*	1,5	0,05	0,001	0,001	**Hg***	21
22	**Na^+**	142	140	558	626	470	471	1.089	1.100	411	427	843	841	519	513	-	-					150	**Na^+**	22
23	**K^+**	99,2	95,2	218	229	273	261	306	274	129	132	295	301	377	368	-	-					12	**K^+**	23
24	**Ca^{2+}**	88,9	84,8	170	155	117	114	134	127	146	147	90,7	101	155	154	-	-					100*	**Ca^{2+}**	24
25	**Mg^{2+}**	41,7	39,7	41,6	41,8	88,1	83,5	50,8	49,7	48,4	52,6	123	119	64,9	61,6	-	-					50	**Mg^{2+}**	25
26	**CO_3H^-**	1.295	1.280	2.328	2.550	2.756	2.710	2.781	2.795	1.634	1.713	3.850	3.990	2.914	2.810	-	-						**CO_3H^-**	26
27	**Cl^-**	175	170	822	872	727	664	1.803	1.820	592	616	1.046	1.075	719	694	-	-	2.000		2.000	(200)	200	**Cl^-**	27
28	**SO_4^{2-}**	35,2	32,1	36,5	23,2	162	138	94,3		58,1	50,4	21,2	10	282	227	-	-	2.000	1.500	2.000	250	250	**SO_4^{2-}**	28
29	**NO_3^-**	6,25	3,6	6,12	-	46,6	42,2	32,2	22,7	34,6	32,4	10,6	-	5,29	-	-	-			20	50	50	**NO_3^-**	29
30	**PO_4^{3-}**	0,24	0,19	1,13	0,9	4,11	1,77	1,94	1,48	0,17	0,12	0,31	0,28	2,08	1,82	-	-			60			**PO_4^{3-}**	30
31	**NO_2^-**	0,89	0,84	0,42	0,22	3,49	4,02	1,44	0,72	2,036	1,34	0,38	0,16	0,20	0,16	-	-					0,1	**NO_2^-**	31
32	**CN***	< 0,03		0,11		0,38		0,32		< 0,03		< 0,03		< 0,03		-	-	0,5	2	1	0,05	0,05	**CN***	32
33	**Fenoles***	0,11		0,84	0,39	0,16		0,19		0,47		0,18		0,81		-	-	0,5	50	5	0,1	0,5	**Fenoles***	33
34	**P**	1,1	1,1	1,64	1,12	-	-	4,63	4,1	1,88	0,85	-	-	-	-	2,1	1,8	10					**P**	34

Tabla 6.37. Comparación de los valores centrales de los parámetros analizados con distintas referencias de calidad. (*) valores máximos (en el centro de las casillas). Unidades en mg/l, salvo T^a (°C), pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF) y C.a.e. (m^{-1}).

En menor medida, los S.S., Mn y Al también sobrepasan en casi todos los vertederos sus límites de vertido. Salvo los S.S. en Góngora, no se llega, sin embargo, a duplicar sus correspondientes límites.

Los fenoles y el Zn sólo sobrepasan sus límites de vertido en un vertedero cada uno (en San Marcos el primero y en Góngora el segundo, y sólo si consideramos el valor medio de estos parámetros).

En cuanto a los parámetros que siempre se mantienen por debajo de sus referencias de vertido cabe destacar la temperatura, pH, Ni, Cr, SO_4^{2-} y CN que cumplen esa condición en todos los vertederos en los que han sido analizados. Los fenoles y Hg la cumplen en todos menos en uno y el Zn y Cl^- en todos menos en 2. Otros parámetros también se mantienen en algunos casos siempre por debajo de sus límites (Cu y P) y algunos sólo en una ocasión (sulfuros y Cd). Los detergentes, analizados sólamente en un vertedero, también cumplen esta condición.

	S.S.	NH_4^+	DQO	DBO_5	Fe	Mn	Al	Fenoles	Zn
Lapatx	-	>>>	>>*	>*	>>>*	>*	>*	-	
San Marcos	>	>>>	>>>	>>>	>>>	>	>	>*	
Petritegi	>*	>>>	>>>	>>	>>>	-	>	-	
Ventas	-	>>>	>>>	>>*	>>	>	>*	-	
Urteta	>*	>>>	>>	>>	>>>	>	>*	-	
Sasieta	-	>>>	>>	>>	>>>	>	-	-	
San Blas	>	>>>	>>>	>>*	>>>	-	>	-	
Los 7 juntos	>*	>>>	>>>	>>	>>>*	>	>*		
Góngora	>>	>>>	>>>	>>>	>>>	-	>*	-	>*

Lapatx	temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, fenoles
San Marcos	temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, P, detergentes, sulfuros
Petritegi	temperatura, pH, Ni, Cr, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, fenoles, P, Cr^{6+}
Ventas	temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Cu, Hg, SO_4^{2-}, CN, fenoles, P
Urteta	temperatura, pH, Ni, Cr, Cu, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, fenoles, P
Sasieta	temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Cu, Hg, SO_4^{2-}, CN, fenoles
San Blas	temperatura, pH, Zn, Ni, Cr, Hg, Cl^-, SO_4^{2-}, CN, fenoles
Los 7 juntos	temperatura, pH, Ni, Cr, SO_4^{2-}, CN
Góngora	temperatura, pH, Ni, Cr, , - , - , - , - , P y Cd

Tabla 6.38. a) Parámetros que sobrepasan los límites permitidos en vertidos a cauces públicos. b) Parámetros que nunca sobrepasan dichos límite.

6.5.12. CONCLUSIONES

Modelos de distribución

Las variables NTK, temperatura, TOC, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3H^- y Cl^- (salvo en Sasieta) se ajustan siempre en los vertederos de Gipuzkoa a modelos de distribución normal. Por contra, las variables Al, S.S., Zn y Ni (excepto en Urteta) presentan siempre distribuciones lognormales. El resto de los parámetros presentan un comportamiento intermedio y en algunos casos no se ajustan a ninguna de estas 2 distribuciones.

Cationes, aniones y metales más característicos

Como secuencias características de los cationes, aniones y metales en los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa puede considerarse:

$$Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$$
$$CO_3H^- >> Cl^- >>> SO_4^{2-} >> NO_3^- >> PO_4^{3-} >> NO_2^-$$
$$Fe >>> Mn >> Al >>> Zn > Pb > Ni > Cr > Cu > Cd > Hg$$

En los 3 casos, no se manifiestan diferencias apreciables entre vertederos activos e inactivos o según su antigüedad. Dentro de los metales cabe diferenciar 2 grupos: el formado por Fe, Mn y Al, que se encuentran en concentraciones considerables, especialmente el Fe, y el formado por los demás metales, que se encuentran en concentraciones mucho menores. Llama la atención el hecho de que en los 2 vertederos de nueva construcción (Lapatx y Sasieta), el Pb es más abundante que el Zn.

Evoluciones de conductividad e iones fundamentales

No se aprecian tendencias temporales en la evolución de estos parámetros en ninguno de los vertederos. En cambio, sí se aprecia una relación bastante clara (paralelismo) entre las evoluciones de la conductividad y Cl^-, NH_4^+, CO_3H^-, Na^+, K^+ y Mg^{2+} (menos evidente en Petritegi y San Blas). Las concentraciones de estos parámetros se relacionan en muchos casos inversamente con las precipitaciones, según los datos registrados en las estaciones pluviométricas más cercanas a los respectivos vertederos. Por el contrario, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, y NO_3^- siguen evoluciones independientes a las de los parámetros citados anteriormente (el SO_4^{2-} puede presentar evoluciones inversas a la de dichos parámetros) y no parecen estar relacionados con las precipitaciones registradas.

Evoluciones de DQO, TOC, N-NH_4^+, PO_4^{3-}, pH, S.S., conductividad y Cl^-

La conductividad, Cl^- y N-NH_4^+ aumentan ligeramente en el periodo controlado (6 años) en los lixiviados de 2 vertederos (San Marcos, Urteta). En cambio, la conductividad, junto con la DQO y PO_4^{3-}, sufre un descenso más o menos continuado en Petritegi, comportándose de forma muy diferente a como lo hace en los vertederos de San Marcos y Urteta. La DQO, salvo en Petritegi, no sigue ninguna tendencia apreciable, pero sí se distinguen en sus evoluciones cambios en la variabilidad de sus valores (se observa una homogeneización de sus valores en todos los vertederos salvo en el de San Blas). Las evoluciones de pH también presentan algunas peculiaridades (descenso y homogeneización en el vertedero de San Marcos y ligeros incrementos en los de Urteta y Sasieta). En cambio, las evoluciones de PO_4^{3-}, S.S. y TOC no sufren cambios destacable durante los periodos considerados (excepto PO_4^{3-} en Petritegi). Los frecuentes aumentos y descensos de todos estos parámetros no pueden relacionarse de forma clara con los caudales medidos ni con ausencia o presencia de precipitaciones previas al momento de muestreo.

Las evoluciones de conductividad y Cl^-, y en menor medida las de N-NH_4^+ en algunos casos, se relacionan entre sí en todos los vertederos, excepto en el de San Blas, en el que se asemejan bastante la evolución de conductividad con la de N-NH_4^+, pero no con la de Cl^-.

Evolución de los metales

Lo más destacable es el hecho de que en ningún caso se evidencien tendencias

temporales en las evoluciones de estos parámetros. Tampoco se ponen en evidencia relaciones entre las evoluciones de los distintos metales aunque en la mayoría de los vertederos pueden coincidir algunos picos aislados de varios de ellos. Los rangos de variación son muy importantes en todos los metales, especialmente en el caso del Fe, sin que haya evidencias de que existan relaciones entre las concentraciones medidas y las precipitaciones registradas.

Parámetros relacionados

Las distintas matrices de correlación realizadas permiten poner de manifiesto que, en casi todos los vertederos de Gipuzkoa, los máximos coeficientes de correlación. se dan entre los componentes del grupo formado por la conductividad, Cl^-, CO_3H^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}, NH_4^+ y NTK. Otros parámetros que pueden correlacionarse con ellos en ocasiones son C.a.e. y PO_4^{3-}. También los parámetros indicativos de contaminación orgánica se relacionan entre sí: DQO y DBO_5, por un lado, y NH_4^+ con NTK por otro, se correlacionan aceptablemente en todos los vertederos, salvo en el de Petritegi. La DQO y DBO_5 suelen correlacionarse con TOC y con C.a.e., y NH_4^+ y NTK con C.a.e.. Sin embargo, la DQO y DBO_5 no suelen correlacionarse con NH_4^+ y NTK.

Entre los metales se dan diversas correlaciones: el Fe y Mn se relacionan aceptablemente en 3 vertederos. Ni, Cd y Pb se relacionan entre sí en todos los vertederos (hay que tener en cuenta el elevado número de determinaciones situadas por debajo del límite de detección). Los S.S. se suelen correlacionar con la turbidez y también con algunos metales como Fe y Mn. Estos 2 últimos metales, especialmente el Mn, también se suelen correlacionar negativamente con el pH.

Análisis cluster y ACP

La comparación de los dendogramas realizados para los 7 vertederos de Gipuzkoa permite poner de manifiesto la relación existente en todos los vertederos entre los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+ y PO_4^{3-}. El pH también suele asociarse con ellos, aunque en algunas ocasiones con correlaciones bastante bajas. La DQO se asocia a estos parámetros en 2 casos (Petritegi y Ventas), y el Al en una ocasión (Petritegi). El resto de parámetros (los metales Fe, Mn y Zn, S.S., turbidez, y también DQO y Al) se agrupan también entre sí aunque en ocasiones dando lugar a 2 subfamilias.

La aplicación de la técnica del ACP también se ha demostrado válida a la hora de comparar el quimismo de los lixiviados estudiados. La observación de las variables que caracterizan en cada caso a los distintos factores permite apreciar cómo los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+ y PO_4^{3-} caracterizan normalmente alguno de los factores. Los parámetros S.S., turbidez, Fe y Al también caracterizan frecuentemente algún factor. Los parámetros DQO, pH, Mn y Zn no presentan entre sí relaciones tan estrechas como los de los 2 grupos citados previamente pero pueden llegar a caracterizar un factor. Sólo en 2 ocasiones (Ventas y San Blas) tiene sentido definir un cuarto factor. En el primer caso está definido únicamente por el Zn, mientras que en el segundo queda definido por Zn, PO_4^{3-} y pH.

Tratamiento conjunto de la información de los vertederos de Gipuzkoa

El tratamiento conjunto de la información referente al quimismo de los lixiviados generados en vertederos de Gipuzkoa ha permitido obtener una información de síntesis muy

apreciable y en consonancia con la obtenida al comparar los resultados del tratamiento efectuado con la información de cada vertedero por separado:

- Las secuencias de cationes, aniones y metales según sus concentraciones son prácticamente idénticas a la deducida previamente.

- Los mayores coeficientes de correlación se dan entre el grupo formado por los parámetros conductividad, Cl^-, NH_4^+, NTK, C.a.e., CO_3H^-, Na^+, K^+, con valores normalmente superiores a 0,6. La DQO, DBO_5 y TOC también forman un grupo de parámetros bien correlacionados, al igual que Ni, Cd y Pb.

- Los análisis cluster y los ACP realizados considerando las 12 variables más habituales proporcionan resultados muy en consonancia con los obtenidos estudiando cada vertedero por separado.

La representación de las muestras consideradas en los 2 ACP efectuados (con 12 y 21 variables) en los planos factoriales definidos en cada caso por los factores I y II permite poner en evidencia las diferencias de quimismo entre los lixiviados de los vertederos considerados: se aprecia cómo las muestras de Lapatx y Urteta son las que presentan menores concentraciones en los parámetros que caracterizan los Factores I (conductividad, Cl^-, NH_4^+, PO_4^{3-} y DQO en el primer caso, y estos mismos parámetros más CO_3H^-, Na^+, K^+, C.a.e. y Mn en el segundo). Por contra, las muestras procedentes de Ventas, y en menor medida las de Petritegi, son las que presentan mayores concentraciones en estos parámetros. Las muestras de los otros 3 vertederos, San Marcos, Sasieta y San Blas, ocupan posiciones centrales o escoradas hacia la parte positiva del Factor I, lo que indica que la interpretación de su quimismo mediante esta técnica está bastante condicionada por el número de muestras que se considere.

Comparación con los lixiviados de Góngora

La temperatura, NTK y TOC presentan en este vertedero distribuciones normales y S.S., Al y Zn, lognormales, al igual que en todos los vertederos de Gipuzkoa.

Las concentraciones de la mayor parte de los parámetros son muy elevadas en el vertedero de Góngora si la comparamos con las de los vertederos de Gipuzkoa: la carga orgánica de los lixiviados de Góngora es muy considerable (la DQO es unas 6 veces superior, la DBO_5 unas 15 veces y TOC unas 7 veces). Los S.S. también son superiores así como las temperaturas (aproximadamente 1 °C). El Fe, metal más abundante, también es bastante superior (entre 4 y 6 veces), y el Zn es hasta 23 veces superior (medias). En cambio, el Mn es superior en general en los vertederos de Gipuzkoa. Las valores de pH, NH_4^+ y NTK son también normalmente algo superiores en los vertederos de Gipuzkoa. El resto de parámetros (conductividad, Al, Ni, Pb, Cr, Cu, Cd y P) presentan valores muy similares.

La secuencia de metales es novedosa con respecto a los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa: Fe >>> Zn > Mn > Al > Ni > Pb > Cr > Cu > Cd (Zn más abundante que Mn y que el Al, y Ni más abundante que Pb).

No se distinguen tendencias en ninguna de las evoluciones presentadas. Las variaciones son importantes y continuas en todas ellas. La DQO se mantiene dentro del mismo rango de

variación durante el periodo estudiado, sin que aparezcan periodos con valores más homogéneos. En las evoluciones de la conductividad y $N\text{-}NH_4^+$ no se producen incrementos o descensos progresivos en el tiempo. La evolución del pH tampoco experimenta homogeneización de sus valores en ningún momento.

A excepción de la DQO, $N\text{-}NH_4^+$ y conductividad, y del Zn y Mn, que parecen tener evoluciones en parte similares, no se aprecian relaciones entre las evoluciones del resto de parámetros. Sí se manifiesta, en cambio, una relación inversa entre los caudales de lixiviados registrados y las concentraciones de los distintos parámetros (en los vertederos de Gipuzkoa esta relación era mucho menos evidente).

Entre los grupos de parámetros relacionados entre sí destacan el formado por la conductividad, NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, Fe, Mn y TOC, y el formado por Zn, Pb y P. La realización de un ACP considerando únicamente las variables analizadas más frecuentemente permite corroborar estas observaciones.

La realización de otro ACP en el que se considera conjuntamente información tanto del vertedero de Góngora como de los 7 vertederos de Gipuzkoa, también permite poner de manifiesto las diferencias de quimismo generales, antes comentadas, existentes entre ellos.

La clara diferencia de quimismo entre los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa y Góngora se considera relacionada, por una parte, con el hecho de que los caudales generados en el vertedero de Góngora sean bastante inferiores a los de Gipuzkoa (la dilución es menor), y por otra, con el hecho de que en Góngora se viertan cantidades muy superiores de residuos orgánicos.

Calidad físico-química de los lixiviados

Los parámetros que en mayor medida condicionan la gestión de los lixiviados son NH_4^+, DQO, Fe y DBO_5: los valores centrales de NH_4^+ superan sus concentraciones máximas permitidas en vertidos a cauces públicos entre 6 y 30 veces. La DQO presenta de media valores centrales del orden de 6 veces superiores a su límite de vertido (el caso extremo es Góngora que lo supera en casi 40 veces). Los valores centrales de la DBO_5 no suelen cuadriplicar su límite de vertido, aunque en San Marcos es más de 10 veces superior (en Góngora 90 veces). Las medias y medianas del Fe suelen superan sus límites permitidos entre 2 y 5 veces (en ocasiones las medias en 10 veces); en Góngora se superan hasta en 25-30 veces. En menor medida, los S.S., Mn y Al también sobrepasan en casi todos los vertederos sus límites de vertido. Salvo en Góngora, los S.S. no llegan, sin embargo, a duplicar sus correspondientes límites de vertido.

En cuanto a los parámetros que siempre se mantienen por debajo de sus referencias de vertido cabe destacar la temperatura, pH, Ni, Cr, SO_4^{2-} y CN que cumplen esa condición en todos los vertederos en los que han sido analizados. Los fenoles y Hg la cumplen en todos menos en uno (San Marcos) y el Zn y Cl^- en todos menos en 2 (Petritegi y Urteta, y Ventas y Sasieta respectivamente).

6.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS ESTUDIADOS. SEGÚN PARÁMETROS

6.6.1. MÉTODOS EMPLEADOS

Tras haber abordado el quimismo de los lixiviados generados en cada uno de los vertederos estudiados, en este apartado se consideran por separado los distintos parámetros analizados. Para cada uno de ellos se ha confeccionado una tabla en la que se muestran sus principales valores estadísticos en cada vertedero. Estas tablas nos permiten comparar aspectos como: valores centrales, rangos de dispersión y tipo de distribución.

A la hora de confeccionar estas tablas se han mantenido los mismos criterios tenidos en cuenta en las tablas del apartado 6.5, comentados en el apartado 6.5.1 (criterios respecto al redondeo de resultados, tratamiento de las determinaciones situadas por debajo del límite de detección, casos en los que más del 75% de las determinaciones de un parámetro se sitúan por debajo del límite de detección, etc.).

En estas tablas también se ha aplicado el criterio de no calcular los valores de simetría y apuntamiento (Skewnes y Kurtosis) ni de comprobar la posible normalidad o lognormalidad de los parámetros si el número de determinaciones es insuficiente ($n < 10$), o cuando más del 75% de las determinaciones están por debajo del límite de detección.

Los valores centrales (medias y medianas), Q_3 y máximos que aparecen en estas tablas no se comparan con las máximas concentraciones permitidas en vertidos a cauces públicos (R.D. 849/1986), y con los reglamentos de vertido a colectores del Gran Bilbao y de Vitoria-Gasteiz (Tabla 6.36; apartado 6.5.11), dado que este aspecto ya se ha tratado en el apartado 6.5.11. Tampoco se hace especial mención a la comparación de los modelos de distribución a los que se ajustan los distintos parámetros en cada vertedero por haber sido tratado ampliamente este aspecto en el apartado 6.5.10.1.

En base a los valores centrales calculados se establece una clasificación de vertederos en orden decreciente. Se obtiene de esta forma, para cada parámetro, una secuencia que posteriormente podrá ser comparada con las del resto de parámetros. En estas secuencias se han utilizado los mismos símbolos empleados en el apartado 6.5. (>, >>, >>> y =).

Los parámetros considerados se han dividido en 5 grupos:

- Parámetros físico-químicos básicos: temperatura, pH, conductividad, turbidez y S.S.
- Parámetros indicativos de contaminación orgánica: NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, C.a.e., TOC.
- Metales: Fe, Mn, Al, Zn, Cr, Pb, Ni, Cu, Cd y Hg.
- Iones mayoritarios y minoritarios: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-} y NO_2^-.
- Otros parámetros: CN, fenoles y P.

Se presenta también para la mayoría de los parámetros una gráfica en la que se muestra su evolución temporal comparada en todos los vertederos. El periodo representado varía según los parámetros: en algunos casos es de 6 años (1989-1994, caso de metales, DQO, pH y otros), mientras que para otros no llega a los 2 años (Julio-1993 a Diciembre-1994, caso de

los iones mayoritarios). En estas gráficas se representa en la parte superior las precipitaciones medias diarias calculadas a partir de las registradas en las estaciones situadas en las cercanías de los vertederos de Gipuzkoa (no se consideran las registradas en las proximidades del vertedero de Góngora).

Para los metales Pb, Ni, Cu, Cd y Hg, así como para DBO_5, NO_2^-, CN, fenoles y P no se han realizado las gráficas de evolución comparada por presentar algunos de ellos múltiples valores por debajo del límite de detección (metales, CN y fenoles), por disponer de un número de determinaciones excesivamente pequeño (NO_2^- y P), o por estar éstas irregularmente distribuidas en el tiempo (DBO_5).

La realización de estas gráficas tiene como objeto reflejar las magnitudes y los rangos de variación de los principales parámetros en cada vertedero y poner en evidencia, en caso de que existan, las tendencias en la evolución de los mismos, las relaciones entre ellos, así como posibles influencias de precipitaciones importantes (darían lugar a aumentos de caudal de diferente cuantía en todos los vertederos) previas al muestreo sobre las concentraciones resultantes.

En general, no se aprecian relaciones entre las evoluciones de los parámetros en los distintos vertederos con las precipitaciones medias representadas. En este sentido, hay que tener en cuenta que pueden darse importantes variaciones en cuanto a las precipitaciones registradas en los distintos vertederos cuando los eventos son localizados e intensos. También hay que considerar la ya mencionada dificultad encontrada en interpretar la gráfica de precipitaciones, que al contener tantos datos, no permite diferenciar con claridad los periodos poco lluviosos de los muy lluviosos. A pesar de ello, se ha considerado oportuno incluir el yetograma medio en todas las gráficas realizadas, haciéndose referencia a él sólo cuando se evidencian relaciones con las concentraciones medidas de los diferentes parámetros.

6.6.2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS BÁSICOS

Los resúmenes estadísticos de estos parámetros (temperatura, pH, conductividad, turbidez y S.S) se presentan en la Tabla 6.39 y las gráficas de sus evoluciones comparadas en los vertederos estudiados en las Figuras 6.32 a 6.36. Las determinaciones de temperatura han sido tomadas en el momento del muestreo. En cambio, las de pH y conductividad se han medido en laboratorio. Aunque lo aconsejable es que sean tomadas también en el momento del muestreo, esto no ha sido así durante la mayor parte del periodo estudiado. A pesar de este inconveniente, se ha considerado válida esta información al comprobarse, durante el último año, que no había diferencias considerables entre los valores tomados "in situ" y los medidos en laboratorio.

Temperatura

Los valores de temperatura son bastante similares en todos los vertederos (sus medias varían entre 16,4 y 20,6 °C) independientemente de la antigüedad de los mismos o de que estén en activo o ya clausurados. No hay una dispersión importante dentro de cada vertedero (máximo valor de V=20,6%). Los valores mínimos son relativamente altos como consecuencia de los procesos exotérmicos que tienen lugar en el interior de los vertederos y que hacen también que las temperaturas de los lixiviados sean bastante homogéneas.

	Temperatura (°C)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	31	16,4	16,5	1,45	8,8	5,8	2,2	14	15,3	17,5	19,8	-0,01	-0,58	normal
2	**SAN MARCOS**	34	17,7	17,9	1,93	10,9	9,9	2,5	11,3	16,5	19	21,2	-1,07	1,93	normal
3	**PETRITEGI**	35	20,6	20,2	2,68	13	11,1	3,9	16,7	18,6	22,5	27,8	0,65	-0,12	normal
4	**VENTAS**	33	18,1	18	2,05	11,3	10,2	3	11,4	16,9	19,9	21,6	-0,88	1,64	normal
5	**URTETA**	35	17,1	17,5	2,01	11,7	7,4	3,3	13,2	15,4	18,7	20,6	-0,26	-0,85	normal
6	**SASIETA**	35	16,7	17,5	3,45	20,6	11,6	6,5	11,2	13,1	19,6	22,8	-0,10	-1,32	normal
7	**SAN BLAS**	33	20,1	20,5	2,33	11,6	10,3	2,65	12,8	19,15	21,8	23,1	-1,34	1,97	normal
	LOS 7 JUNTOS	236	18,1	18,05	2,78	15,3	16,6	3,4	11,2	16,5	19,9	27,8	-0,01	0,32	normal
8	**GONGORA**	65	19,7	19	3,58	18,2	14,9	5,65	12,2	16,9	22,5	27,1	0,09	-0,91	normal

	pH	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	99	7,47	7,50	0,37	4,9	2	0,6	6,3	7,2	7,8	8,3	-0,29	0,13	normal
2	**SAN MARCOS**	159	7,19	7,10	0,49	6,8	2,1	0,8	6,1	6,8	7,6	8,2	0,27	-0,85	log
3	**PETRITEGI**	95	7,94	7,90	0,19	2,4	1,1	0,2	7,4	7,8	8	8,5	0,66	1,41	
4	**VENTAS**	97	8,08	8,10	0,25	3	1,6	0,3	7,1	7,9	8,2	8,7	-0,56	1,47	
5	**URTETA**	89	7,31	7,30	0,27	3,6	1,1	0,4	6,8	7.1	7,5	7,9	0,28	-0,71	normal
6	**SASIETA**	65	7,62	7,50	0,44	5,7	2	0,6	6,7	7,3	7,9	8,7	0,49	-0,06	normal
7	**SAN BLAS**	36	7,98	8,0	0,30	3,7	1,5	0,28	7	7,9	8,18	8,5	-1,38	2,32	normal
	LOS 7 JUNTOS	640	7,58	7,70	0,49	6,5	2,6	0,8	6,1	7,2	8	8,7	-0,33	-0,60	
8	**GONGORA**	108	6,9	6,9	0,336	4,9	1,7	0,5	6,1	6,7	7,2	7,8	-0,05	-0,16	normal

	Conductividad (µS/cm)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	99	2.089	2.060	501	24	2.646	600	974	1.780	2.380	3.620	0,58	0,75	normal
2	**SAN MARCOS**	160	5.391	5.566	1.763	32,7	10.387	2.632	1.070	4.094	6.725	11.457	0,06	0,18	normal
3	**PETRITEGI**	93	7.417	6.600	2.764	37,3	14.760	3.540	2.840	5.415	8.955	17.600	1,09	0,86	log
4	**VENTAS**	98	8.502	8.694	2.852	33,5	12.620	3.373	1.980	7.028	10.400	14.600	-0,21	-0,23	normal
5	**URTETA**	91	3.620	3.640	1.070	29,6	5.804	1.650	1.346	2.750	4.400	7.150	0,15	0,20	normal
6	**SASIETA**	67	6.575	7.490	2.783	42,3	12.698	3.020	702	5.290	8.310	13.400	-0,65	0,15	
7	**SAN BLAS**	36	5.977	5.870	832	13,9	3.590	1.085	3.990	5.438	6.523	7.580	-0,01	-0,34	normal
	LOS 7 JUNTOS	644	5.555	5.350	2.906	52,3	16.898	3.946	702	3.277	7.223	17.600	0,67	0,26	normal
8	**GONGORA**	82	5.660	5.480	2.805	49,6	13.380	4.100	760	3.400	7.500	14.140	0,52	0,13	normal

	Turbidez (UNF)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	95	57,1	42	50,6	88,7	299,7	47	0,3	27	74	300	2,62	8,21	log
2	**SAN MARCOS**	153	73,1	52	82,7	113	667,2	56	2,8	28	84	670	3,92	20,52	log
3	**PETRITEGI**	87	21,3	10	29	136	133,9	27,5	0,1	2,5	30	134	1,99	3,46	log
4	**VENTAS**	93	12,7	5,5	18,1	143	99,5	11,9	0,5	3,15	15	100	3,17	11,07	log
5	**URTETA**	86	58,2	41	64	110	422	39,3	8	26	65,3	430	3,59	15,17	log
6	**SASIETA**	66	54,6	48	37,3	68,4	197,9	41,8	2,1	29,3	71	200	1,17	2,15	normal
7	**SAN BLAS**	37	28,2	18	36	127	189,1	21,7	0,9	7,9	29,5	190	3,09	10,31	log
	LOS 7 JUNTOS	617	47,5	32	59,4	125	669,9	50	0,1	13	63	670	4,24	28,76	

	S.S. (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	93	2 (2,15)	53,6	34	71,8	134	-	30	< 5	18	48	358	3,02	8,70	log
2	**SAN MARCOS**	133	-	135	85	146	108	817	116	9	43	159	826	2,35	6,13	log
3	**PETRITEGI**	83	6 (7,22)	117	21	237	203	-	82	< 5	10	92	1.360	3,20	11,11	log
4	**VENTAS**	94	5 (5,3)	26,7	18	27,1	101	-	26	< 2	9	35	141	2,23	5,41	log
5	**URTETA**	89	-	183	57	313	171	1.862	162	8	32	194	1.870	3,40	12,85	log
6	**SASIETA**	64	1 (1,6)	50,9	29	56,1	110	-	42	< 5	20,3	62,3	308	2,47	6,58	log
7	**SAN BLAS**	37	-	164	105	173	106	753	125	18	57	182	771	2,12	4,05	log
	LOS 7 JUNTOS	593	14 (2,36)	102	40	182	178	-	81	< 2	19	100	1.870	4,67	29,81	log
8	**GONGORA**	99	-	338,8	285	250	73,7	1.780	210	56	190	400	1.836	2,77	12,03	log

Tabla 6.39. Resumen estadístico de la temperatura, pH, conductividad, turbidez y S.S.

En la Figura 6.32 (evoluciones comparadas de temperatura) no se aprecian similitudes entre las distintas curvas de evolución. En cambio, se observa una ciclicidad verano-invierno bastante clara en el caso del vertedero de Sasieta. Esta ciclicidad se debe al hecho de que las muestras han sido tomadas del depósito de lixiviados y no directamente del tubo de drenaje (en dicho depósito se mantiene una temperatura similar a la ambiental). Por tanto, podemos considerar a estas muestras como no representativas a la hora de intentar caracterizar la temperatura de los lixiviados. La ciclicidad verano-invierno también se aprecia con menos claridad en los vertederos de Lapatx, San Marcos, Petritegi, Ventas y Urteta.

Aunque es difícil establecer relaciones con las precipitaciones registradas, sí parece apreciarse en el caso del análisis de los primeros días de Abril de 1994 una coincidencia de los bajos valores de temperatura con fuertes precipitaciones, que deben provocar un aumento de los caudales de lixiviados al mismo tiempo que un descenso de sus temperaturas dada la mezcla de los lixiviados preexistentes con las aguas más frías de infiltración.

pH

Los valores de pH tampoco varían excesivamente ni entre vertederos ni dentro de un mismo vertedero (valores de V por debajo del 7%). Los valores medios varían entre 6,9 (Góngora) y 8,08 (Ventas) y los valores extremos son 6,1 y 8,7. Normalmente se obtienen valores superiores a 7, llamando la atención los altos valores que se dan en los 2 vertederos clausurados (medias de 7,94 y 8,08 en Petritegi y Ventas respectivamente, aunque también en San Blas se obtiene un valor de 7,98). En las gráficas de evoluciones comparadas (Figura 6.33) sí se aprecian algunas ligeras tendencias:

San Marcos: descenso considerable de valores y homogeneización de los mismos a partir de Diciembre de 1992.
Urteta: incremento medio a partir de 1992.
Sasieta: incremento medio de los valores a partir de Diciembre de 1992.

Como se ve, estos cambios en la forma de sus evoluciones no están relacionados entre sí. Tampoco se aprecian semejanzas entre las evoluciones del pH en el resto de vertederos ni de ninguna de las evoluciones con las precipitaciones registradas.

Conductividad

La conductividad toma valores bastante diferentes de unos vertederos a otros. Los valores medios varían desde 2.089 µS/cm en Lapatx hasta los 8.502 µS/cm de Ventas. Clasificando los vertederos en función de sus valores centrales obtenemos la secuencia:

Ventas > Petritegi > Sasieta > San Blas > Góngora > San Marcos > Urteta > Lapatx

Los 2 vertederos clausurados son los que presentan valores superiores. En cambio, entre vertederos en activo no se aprecia ninguna dependencia con la antigüedad de los mismos. Así, el de Sasieta (de construcción reciente) presenta valores muy superiores al de Lapatx, también de nueva construcción (quizás el lugar de muestreo en Sasieta condiciona esta observación).

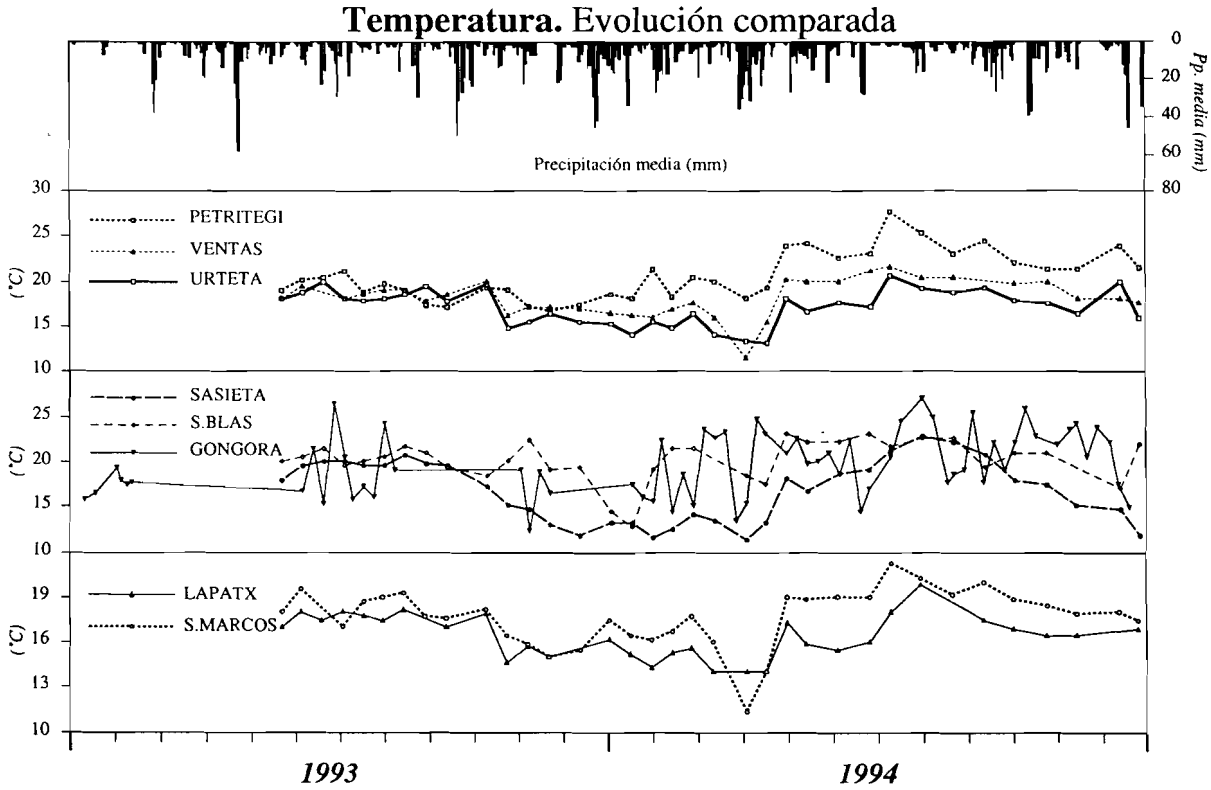


Figura 6.32. Evolución comparada de la Temperatura en los lixiviados de los vertederos estudiados.

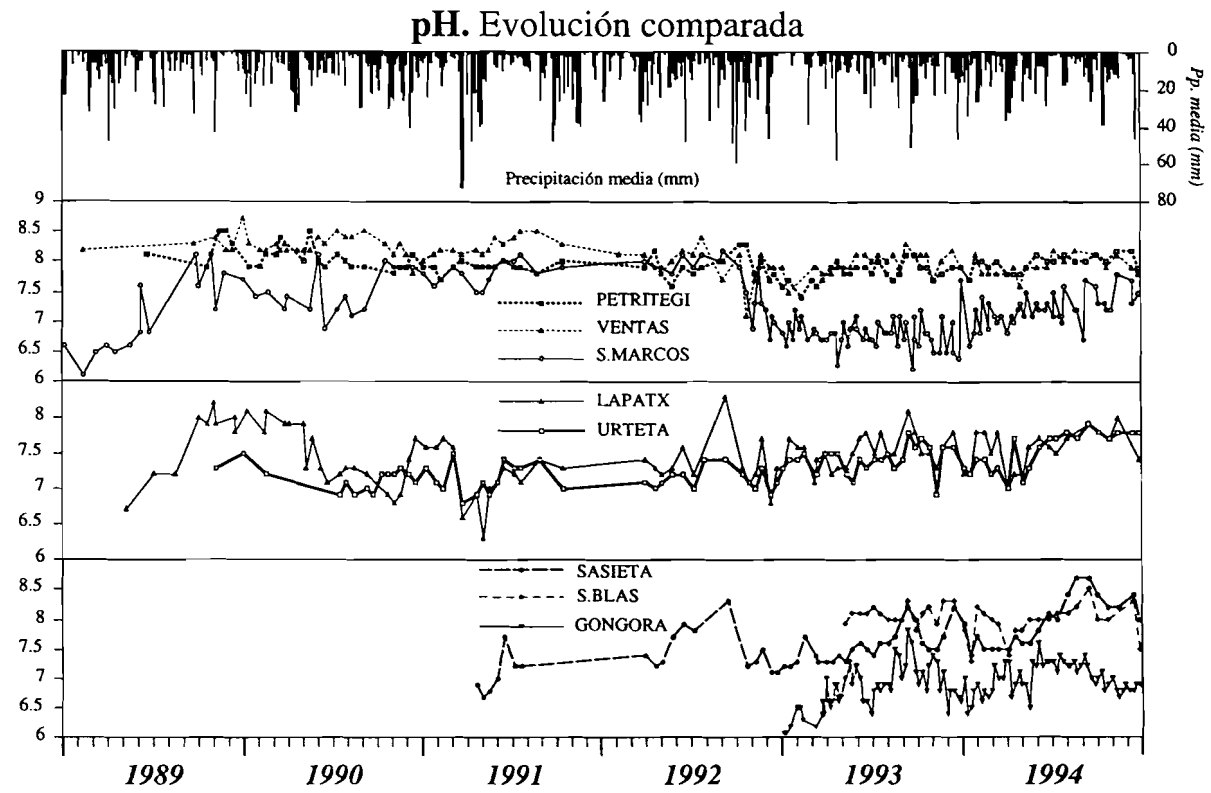


Figura 6.33. Evolución comparada del pH en los lixiviados de los vertederos estudiados.

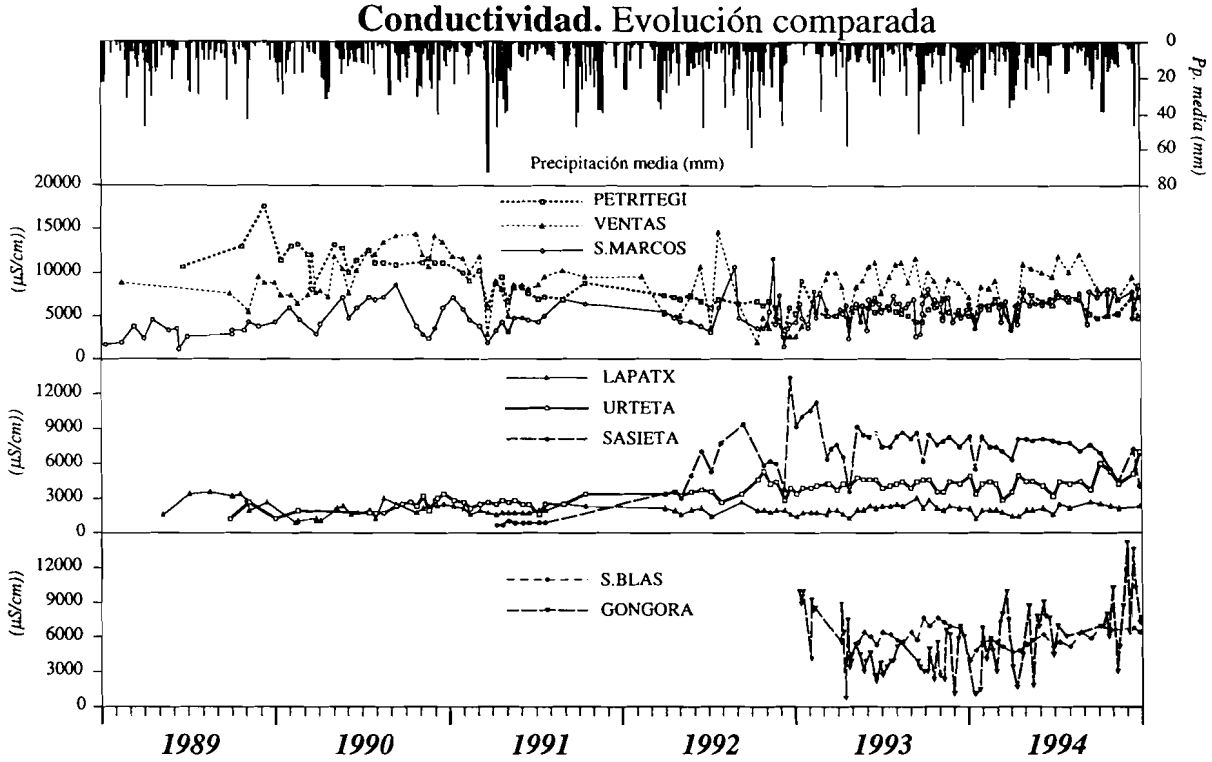


Figura 6.34. Evolución comparada de la Conductividad en los lixiviados de los vertederos estudiados.

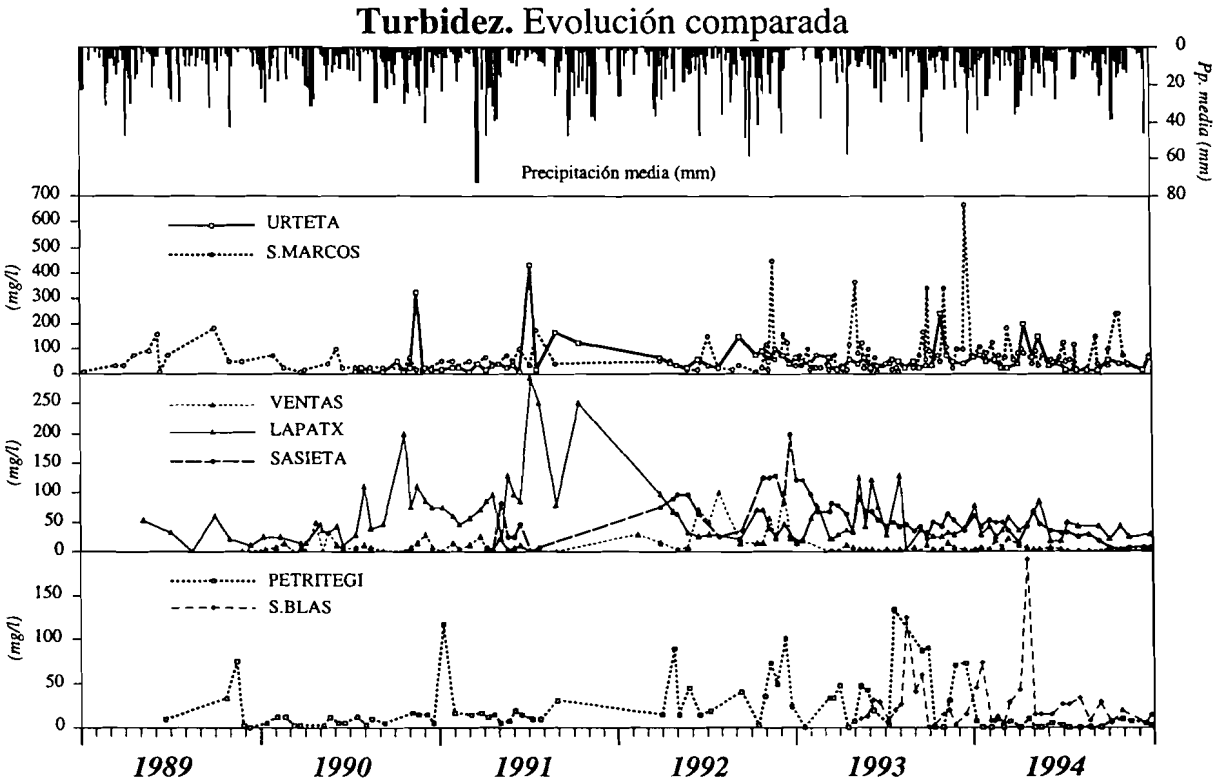


Figura 6.35. Evolución comparada de la Turbidez en los lixiviados de los vertederos estudiados.

Los rangos de variación son importantes pudiendo llegar el valor del coeficiente de variación (V) hasta el 49,6% (Góngora). Los que presentan menor variabilidad son los de San Blas, Urteta y Lapatx. Estos rangos de variación también se aprecian en la Figura 6.34.

En esta figura se vuelven a poner de manifiesto algunas observaciones ya enunciadas en el capítulo 6.5:

San Marcos: ligero incremento general con el tiempo, distorsionado a veces por picos más o menos importantes. Desde mediados de 1993, incremento más evidente.
Urteta: incremento progresivo con el tiempo. Rango de variación limitado.
Petritegi: descenso más o menos continuado a lo largo de los 6 años considerados.

Llama la atención esta disparidad de comportamientos. De los activos, sólo los de San Marcos y Urteta presentan tendencias crecientes. Entre los clausurados, el de Petritegi presenta una evolución muy diferente al de Ventas.

Turbidez

El aspecto más característico de este parámetro es la gran variabilidad de valores que presenta. Sus rangos de variación son muy importantes y sus valores máximos pueden sobrepasar los 600 UNF. A pesar de ello sus medianas (valor central más representativo en este caso), no pasan en ningún caso de 52 UNF (San Marcos). Los valores más bajos se dan en los vertederos clausurados, Petritegi y Ventas. Ordenados los vertederos en función de sus valores centrales obtenemos la secuencia:

San Marcos > Sasieta > Urteta > Lapatx > Góngora > San Blas > Petritegi > Ventas

En la Figura 6.35 se presentan sus evoluciones comparadas. Se observa la inexistencia de relaciones entre las distintas evoluciones representadas, la gran variación de valores, la existencia de importantes picos, y en general, la ausencia de tendencias mínimamente claras.

S.S.

Al igual que en el caso anterior, lo más característico de los S.S. es la gran variabilidad de valores que presenta. Puede tomar valores comprendidos entre < 2 y 1.870 mg/l. Las medianas varían entre 18 (Ventas) y 285 mg/l (Góngora). Los valores más bajos se vuelven a dan en los vertederos clausurados, Petritegi y Ventas. Ordenando los vertederos según sus medianas obtenemos la secuencia:

Góngora > San Blas > San Marcos > Urteta > Lapatx > Sasieta > Petritegi > Ventas

La gran variabilidad se observa claramente en la Figura 6.36. La presencia de picos importantes es muy habitual sin que se aprecie ninguna tendencia en las evoluciones ni semejanzas entre ellas.

6.6.3. PARÁMETROS INDICATIVOS DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA

Los resúmenes estadísticos de estos parámetros (NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, C.a.e. y TOC) se presentan en la Tabla 6.40 y las gráficas de sus evoluciones comparadas en los

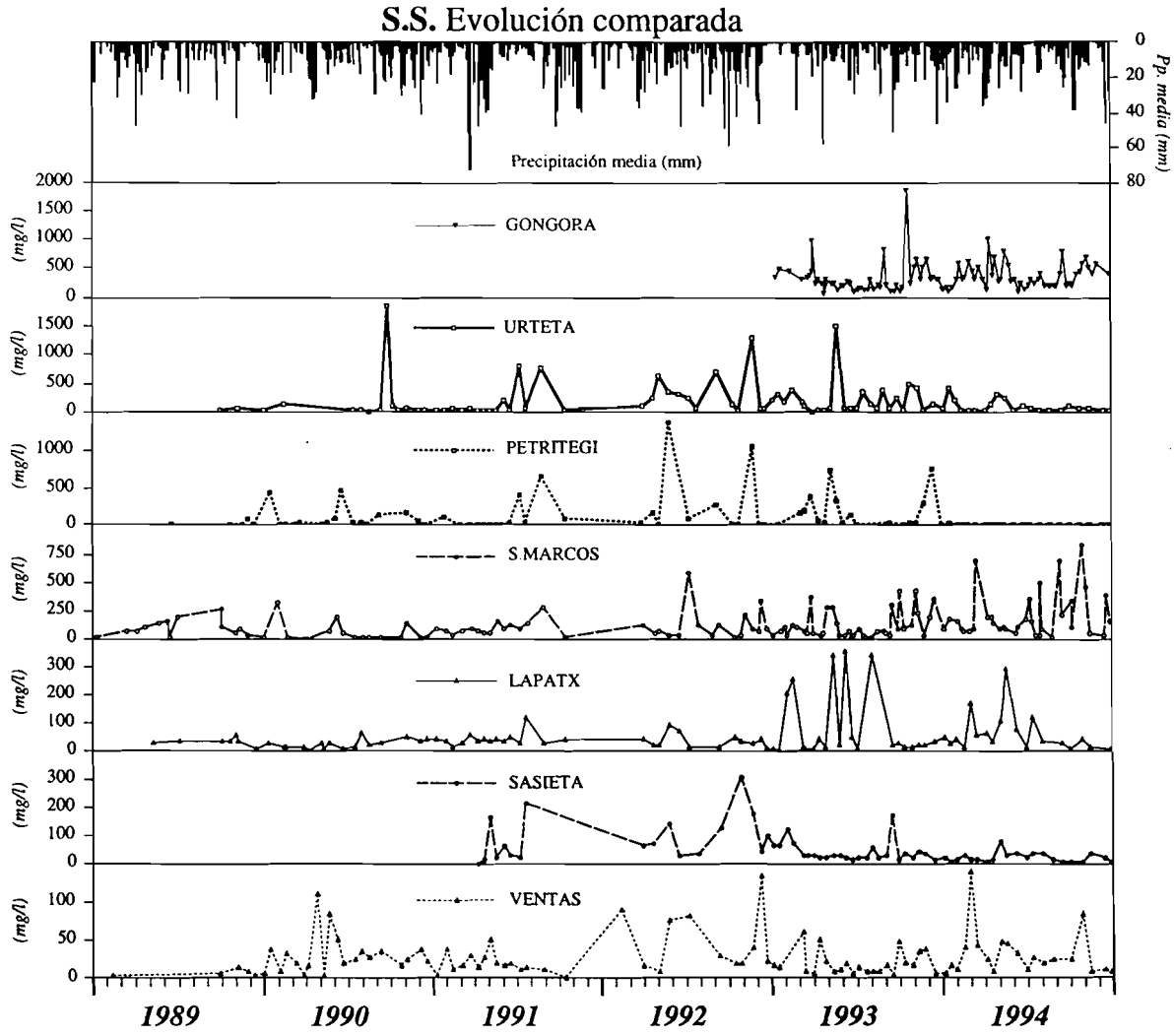


Figura 6.36. Evolución comparada de S.S. en los lixiviados de los vertederos estudiados.

vertederos estudiados en las Figuras 6.37 a 6.41. Para el caso de la DBO_5 no se ha realizado la gráfica de evoluciones comparadas al disponerse de datos distribuidos irregularmente en el tiempo para cada vertedero. Otros parámetros también relacionados con la degradación de la materia orgánica, como son las formas iónicas NO_3^- y NO_2^-, que alcanzan valores muy bajos, se estudian en un apartado posterior.

Nitrógeno (NH_4^+ y NTK)

El N de los lixiviados proviene fundamentalmente de la descomposición de los compuestos nitrogenados existentes en la fracción orgánica de los residuos vertidos. La intensa actividad microbiológica que tiene lugar en el interior del vertedero hace que el N pueda presentarse como formas orgánicas e inorgánicas. Es por esto por lo que debe de considerarse, a la hora de caracterizar el contenido en N de los lixiviados, tanto el NTK como las formas iónicas NH_4^+, NO_3^- y NO_2^-. Las 2 últimas, dada su escasa importancia se estudian posteriormente en el apartado correspondiente a los iones mayoritarios y minoritarios.

Debe mencionarse el hecho de que en los resúmenes estadísticos correspondientes al NH_4^+ y NTK, las unidades de ambas tablas no son las mismas, así los NH_4^+ vienen expresados en mg NH_4^+/l, mientras que los NTK en mg N/l (para pasar de las primeras

unidades a las segundas debe multiplicarse por 0,77).

En ambas tablas puede apreciarse las importantes variaciones que se dan entre vertederos. Los valores medios varían entre 130 y 625 mg/l en el caso de NH_4^+ y entre 135 y 519 mg N/l en el caso del NTK. Las secuencias de vertederos según sus valores medios quedarían de la forma:

NH_4^+: Petritegi > Ventas > Sasieta = San Blas > San Marcos > Góngora > Urteta > Lapatx
NTK: Ventas > Petritegi = Sasieta > San Blas > San Marcos > Góngora > Urteta > Lapatx

Los mayores valores se dan en los 2 vertederos clausurados. Entre los vertederos en activo, no se manifiesta ninguna relación en función de la edad de los mismos.

También se dan importantes variaciones de valores dentro de cada vertedero (los coeficientes de variación varían entre 20 y 60%). En las Figuras 6.37 y 6.38 se observa con claridad este hecho. También se observan algunas tendencias en las evoluciones representadas:

San Marcos: ligero incremento general de ambos parámetros con el tiempo.
Petritegi: homogeneización de los valores de $N\text{-}NH_4^+$ a partir de los primeros meses de 1993.
Urteta: incremento progresivo de ambos parámetros con el tiempo. Rango de variación limitado.

Como se indica, sólo en 2 vertederos en activo (de 6) se produce un cierto crecimiento de los valores en el tiempo. En el vertedero clausurado de Ventas se mantiene la irregularidad de la evolución a diferencia de lo que ocurre en el de Petritegi. En el resto de los casos, las evoluciones son irregulares sin semejanzas entre ellos.

DQO y DBO_5

Estos parámetros reflejan la importante cantidad de materia orgánica que contienen los lixiviados. En los resúmenes estadísticos de estos 2 parámetros (Tabla 6.40) se observa como tanto los valores centrales como los máximos o cuartiles de la DQO son muy superiores a los de la DBO_5. En algunos casos pueden ser hasta de más de 10 veces superior (caso de Ventas por ejemplo).

La variabilidad de estos parámetros entre vertederos y dentro de cada vertedero es considerable. Llama la atención los altos valores que se registran en el vertedero de Góngora (medias de 6.584 y 3.748 mg/l en DQO y DBO_5 respectivamente), muy superiores a las del resto de vertederos. Queda de manifiesto en este caso la fuerte influencia del tipo de residuos vertidos (residuos domiciliarios fundamentalmente orgánicos) y de los bajos caudales de lixiviados medidos, sobre los valores que toman estos parámetros. Ordenando los vertederos según sus medianas obtenemos las secuencias:

DQO: Góngora >> Ventas = Petritegi = S. Marcos = San Blas > Sasieta > Urteta > Lapatx
DBO_5: Góngora >> S. Marcos >> Petritegi = Urteta = San Blas = Sasieta >Ventas > Lapatx

	NH_4^+ (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	98	130	126	55,2	42,4	255,9	79,1	12,1	88,2	167,3	268	0,23	-0,33	normal
2	SAN MARCOS	134	338	340	172	50,9	682,1	254	17,9	223	477	700	-0,05	-0,85	normal
3	PETRITEGI	93	625	570	348	55,6	1.825	315	15,3	423	738	1.840	1,41	2,23	log
4	VENTAS	97	509	530	275	54	1.628	373	12,5	306	679	1.640	0,43	1,57	normal
5	URTETA	87	168	182	90,7	54	388,2	152	0,79	87,3	239	389	-0,14	-0,94	normal
6	SASIETA	64	467	550	229	49	838	274	0,05	348	622	838	-0,90	-0,34	
7	SAN BLAS	37	481	460	103	21,5	356	167	312	398	565	668	0,14	-1,05	normal
	LOS 7 JUNTOS	610	373	327	272	72,8	1.839	396	0,05	154	550	1.840	1,34	3,63	
8	GONGORA	108	297	302	178	60,1	804,8	296	16,8	130	426	822	0,40	-0,41	normal

	NTK (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	55	135	135	36	26,7	184	46	28	112	158	212	-0,21	0,14	normal
2	SAN MARCOS	53	383	402	127	33,1	619	183	98	296	478	717	-0,15	-0,02	normal
3	PETRITEGI	51	467	468	162	34,7	787	177	213	356	533	1.000	1,10	1,86	normal
4	VENTAS	49	519	532	188	36,2	725	287	145	356	643	870	-0,06	-0,88	normal
5	URTETA	58	189	199	66,3	35,1	336	65	11	165	230	347	-0,60	1,12	normal
6	SASIETA	51	474	492	200	42,3	1.084	205	16,5	360	565	1.100	0,27	1,44	normal
7	SAN BLAS	36	438	418	90,4	20,6	331	147	303	373	519	634	0,46	-0,79	normal
	LOS 7 JUNTOS	353	362	358	197	54,3	1.089	309	11	193	502	1.100	0,56	0,10	
8	GONGORA	107	288,6	295	161	55,9	753,9	242	21,1	150	392	775	0,48	0,06	normal

	DQO (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	97	-	440	206	442	100	2.413	530	67	132,5	662,5	2.480	1,89	4,39	
2	SAN MARCOS	135	-	1.371	1.120	787	57,4	4.652	852	218	918	1.770	4.870	1,67	3,38	log
3	PETRITEGI	95	-	1.531	778	1.605	105	7.739	1.577	211	483	2.060	7.950	1,97	4,07	log
4	VENTAS	98	-	1.664	857	1.734	104	7.357	1.682	143	583	2.265	7.500	1,71	2,08	
5	URTETA	91	-	609	465	437	71,7	2.107	584	33	263	847	2.140	1,11	0,68	log
6	SASIETA	66	1 (1,5)	625	518	374	59,9	-	373	< 15	434	806	1.740	0,96	0,53	
7	SAN BLAS	36	-	1.042	917	482	46,2	2.427	406	573	719	1.125	3.000	2,28	6,09	normal
	LOS 7 JUNTOS	618	1 (0,16)	1.085	766	1.143	105	7.943	817	< 15	429	1.246	7.950	2,80	9,90	
8	GONGORA	108	-	6.584	5.839	3.981	60,5	19.355	4.574	325	3.894	8.468	19.680	0,95	0,91	

	DBO_5 (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	54	11 (20,3)	94	27,5	178	189	-	70,5	< 2	10,8	81,3	920	3,28	11,12	log
2	SAN MARCOS	88	-	562	431	383	68,3	1.903	392,5	17	322,5	715	1.920	1,52	2,36	log
3	PETRITEGI	55	6 (10,9)	171	90	182	106	-	270	< 20	30	300	840	1,43	1,91	log
4	VENTAS	54	7 (13)	102	50	127	124	-	89,5	< 20	33	123	640	2,48	6,27	log
5	URTETA	55	6 (10,9)	174	64	244	140	-	175	< 20	30	205	920	1,81	2,05	log
6	SASIETA	48	3 (6,3)	129	80	134	104	-	87,3	< 10	50,3	137,5	550	1,73	2,24	log
7	SAN BLAS	23	1 (4,3)	117	70	124	106	460	70	10	50	120	470	1,92	2,37	normal
	LOS 7 JUNTOS	377	34 (9,01)	233	90	301	129	-	305	< 2	40	345	1.920	2,31	6,82	
8	GONGORA	17	-	3.748	3.732	2.028	54,1	8.042	2.341	585	2.305	4.646	8.627	0,84	0,52	normal

	C.a.e. (m^{-1})	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	69	74,6	65	36,9	49,4	240,3	31,2	11,7	52,5	83,7	252	2,38	7,54	log
2	SAN MARCOS	69	338	332	173	51,2	963,5	204	0,5	235	438	964	0,91	2,78	normal
3	PETRITEGI	69	385	341	225	58,4	964	294	19	220	514	983	0,68	-0,13	normal
4	VENTAS	68	532	470	345	64,8	1.503	360	16,7	291	651	1.520	1,07	0,71	normal
5	URTETA	69	120	113	52,2	43,7	280,4	46,5	16,6	91	137,5	297	1,12	2,21	normal
6	SASIETA	54	309	321	170	55,1	743,2	169	6,8	234	403	750	0,22	0,27	normal
7	SAN BLAS	25	651	608	233	35,7	937	250	213	510	760	1.150	0,49	-0,11	normal
	LOS 7 JUNTOS	423	313	252	264	84,3	1.520	340	0,5	100	440	1.520	1,47	2,67	

	TOC (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	16	54,9	45	28,1	51,1	105	23,4	32	35,4	58,8	137	1,88	2,86	normal
2	SAN MARCOS	17	440	449	199	45,2	659	271	98	298	569	757	0,08	-0,84	normal
3	PETRITEGI	17	186	176	97,6	52,4	365	100	77	119	219	442	1,46	1,46	normal
4	VENTAS	17	216	203	102	47,0	351	106	109	131	236	460	1,48	1,50	normal
5	URTETA	17	93,7	83	48,2	51,5	181	60,5	35	53,5	114	216	0,96	0,57	normal
6	SASIETA	14	190	160	104	54,9	340	131	60	113	244	400	0,91	-0,39	normal
7	SAN BLAS	16	321	271	137	42,8	458	206	126	217	422	584	0,67	-0,64	normal
	LOS 7 JUNTOS	114	215	176	166	77,3	725	184	32	97	281	757	1,30	1,26	log
8	GONGORA	21	1.588	1.325	922	58,1	3.128	1.402	110	999	2.400	3.238	0,05	-1,03	normal

Tabla 6.40. Resumen estadístico de los parámetros NH_4^+, NTK, DQO, DBO_5, C.a.e. y TOC.

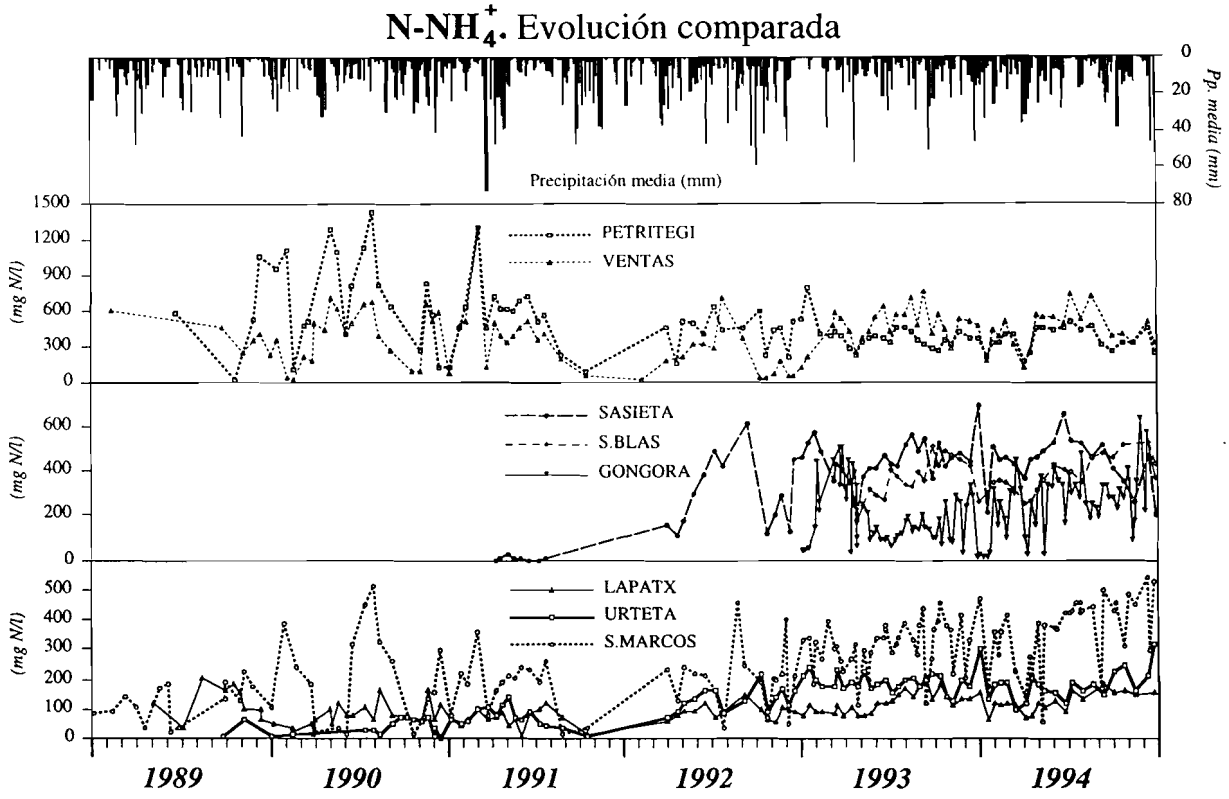


Figura 6.37. Evolución comparada del Nitrógeno Amoniacal en los lixiviados de los vertederos estudiados.

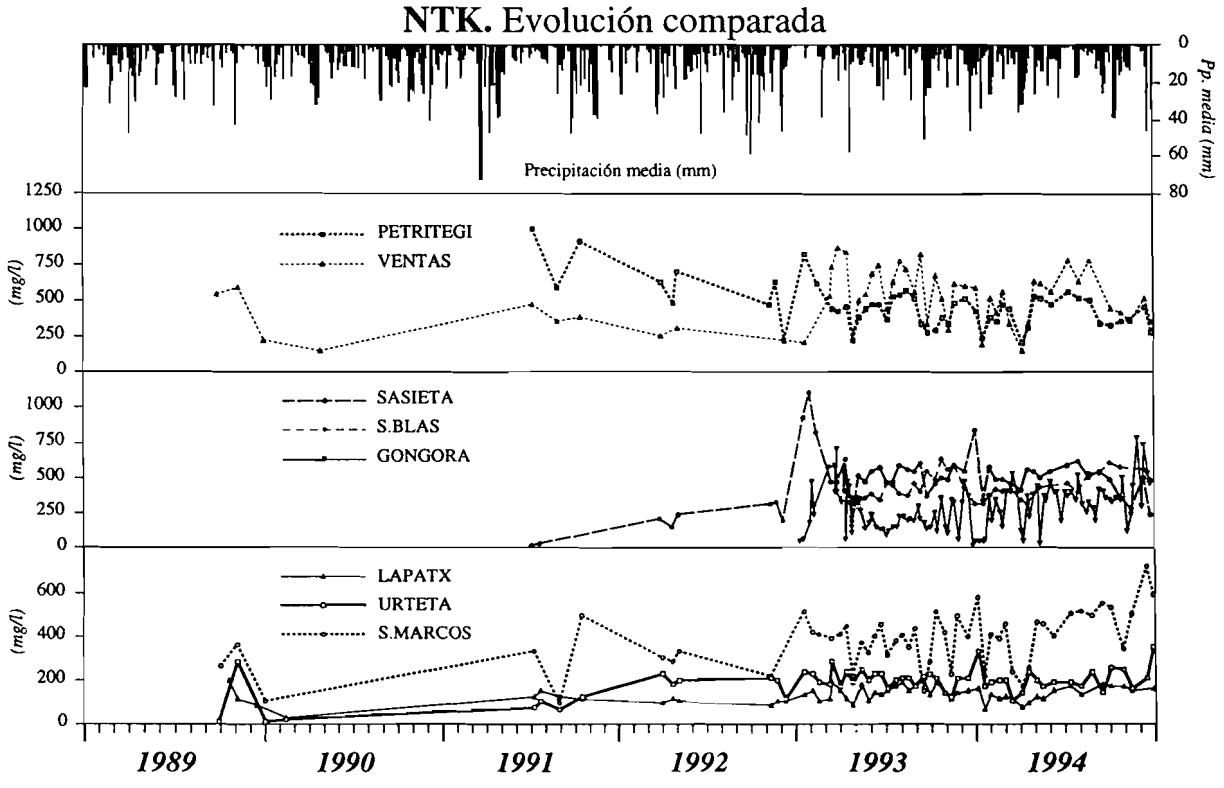


Figura 6.38. Evolución comparada del Nitrógeno Total en los lixiviados de los vertederos estudiados.

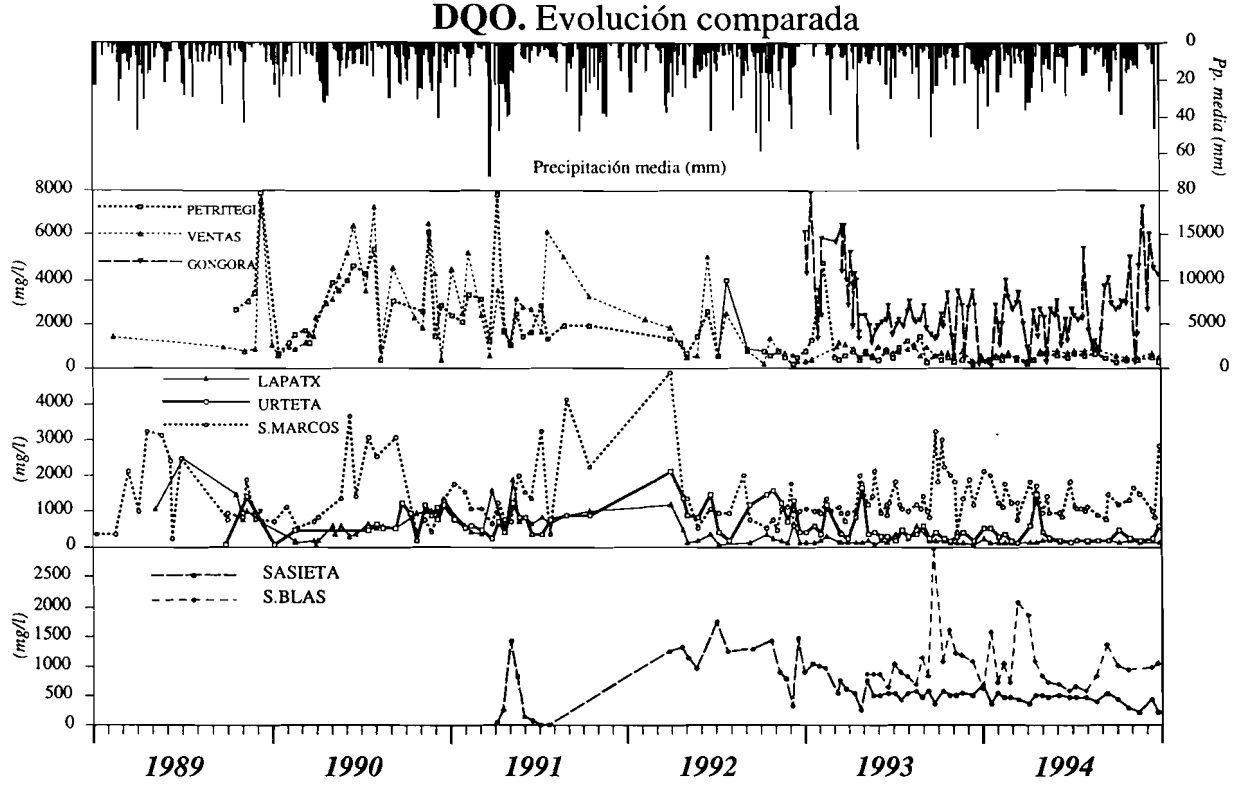


Figura 6.39. Evolución comparada de la DQO en los lixiviados de los vertederos estudiados.

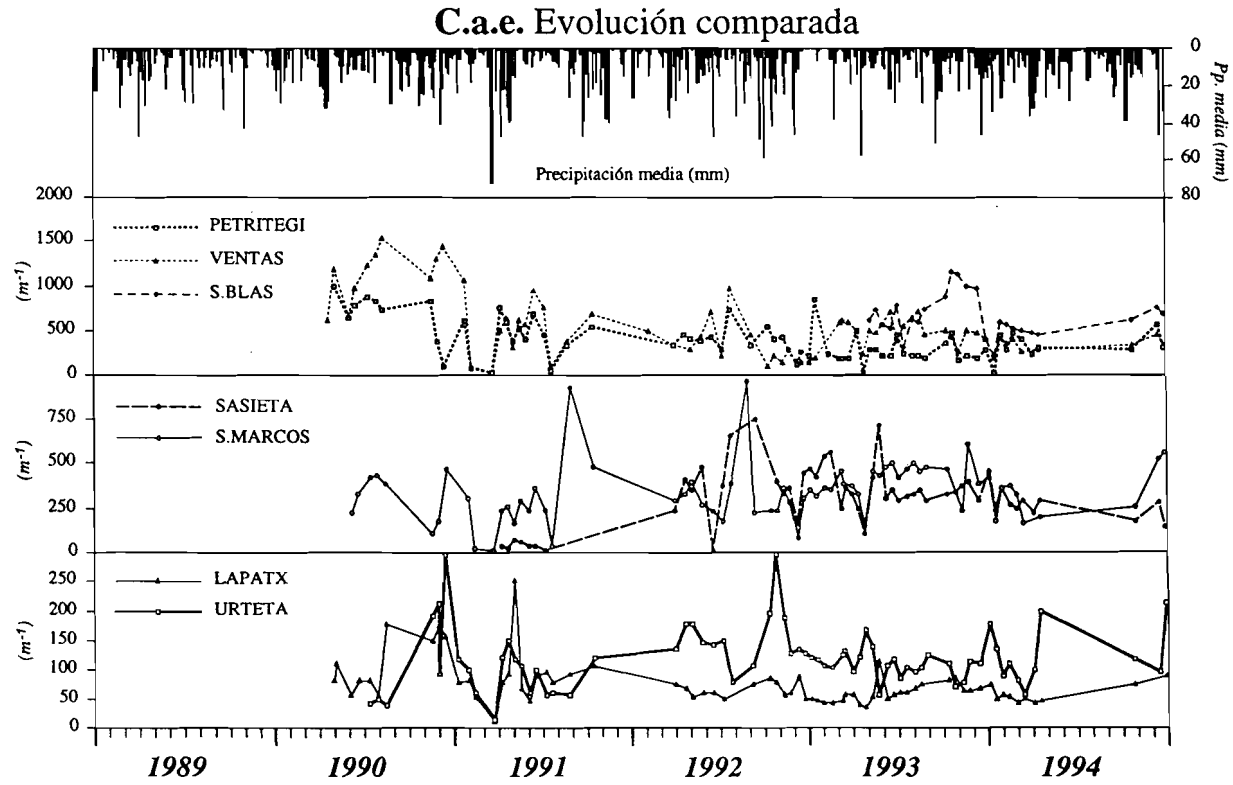


Figura 6.40. Evolución comparada del C.a.e. en los lixiviados de los vertederos estudiados.

Como en casos anteriores, no se manifiestan diferencias en función de la antigüedad del vertedero o de si está clausurado o permanece en activo. La variabilidad, antes aludida, de la DQO dentro de cada vertedero se observa con mucha claridad en la Figura 6.39 así como algunas características de las distintas evoluciones:

Petritegi: ligero descenso en el tiempo y homogeneización a partir de primeros meses de 1993.
Ventas: homogeneización de los valores a partir de Septiembre-Octubre de 1992.
Lapatx:: valores bajos y homogéneos a partir de Abril-Mayo de 1992.
Urteta: homogeneización leve a partir de Mayo de 1993.
San Marcos: valores más homogéneos a partir de Abril de 1992.
Sasieta: valores más homogéneos a partir de Abril-Mayo de 1993.

Como se aprecia, en todos los vertederos de Gipuzkoa, salvo en San Blas, se producen homogeneizaciones de los valores medidos a partir de diferentes fechas aunque coincidentes en varios casos. El motivo de tales comportamientos puede estar relacionado con algunos cambios introducidos en el pretratamiento de las muestras y conservación de las mismas, y no con la diferencia de edad de los vertederos en cuestión.

C.a.e. y TOC

El coeficiente de absorción específica (C.a.e.) y el carbono orgánico total (TOC) también dan idea de la importancia de los procesos de descomposición de la materia orgánica que tienen lugar en los vertederos.

Al igual que los parámetros previos, éstos también varían ampliamente entre los distintos vertederos. Los valores medios varían para el C.a.e. entre 74,6 (Lapatx) y 651 m^{-1} (San Blas), y entre 54,9 (Lapatx) y 1.588 mg/l (Góngora) para el TOC. En el vertedero de Góngora se disparan los valores de TOC al igual que pasaba con los de DQO y DBO_5 (en este vertederos no hay datos de C.a.e.). La dispersión de los valores de ambos parámetros también es importante, normalmente con valores de V comprendidos entre el 45 y 65%. Si ordenamos los vertederos según sus medias obtenemos las secuencias:

C.a.e.: San Blas > Ventas > Petritegi > S. Marcos > Sasieta > Urteta > Lapatx
TOC: Góngora >> S. Marcos > San Blas > Ventas > Sasieta > Petritegi > Urteta > Lapatx

Entre los vertederos de Gipuzkoa siguen sin apreciarse relaciones con la edad de los mismos. Tampoco se aprecian tendencias de evolución ni semejanzas entre las evoluciones de estos parámetros en los diferentes vertederos (Figuras 6.40 y 6.41). Sí se aprecian en cambio los amplios rangos de variación a los que antes aludíamos.

6.6.4. METALES

Los resúmenes estadísticos de los metales analizados (Fe, Mn, Al, Zn, Cr, Pb, Ni, Cu, Cd y Hg) se presentan en la Tablas 6.41 y 6.42. Únicamente se presentan las gráficas de evolución comparada para los primeros 5 metales citados. Para los demás no se han realizado por existir gran número de determinaciones por debajo del límite de detección que limitan en gran medida la información que suministran las mismas.

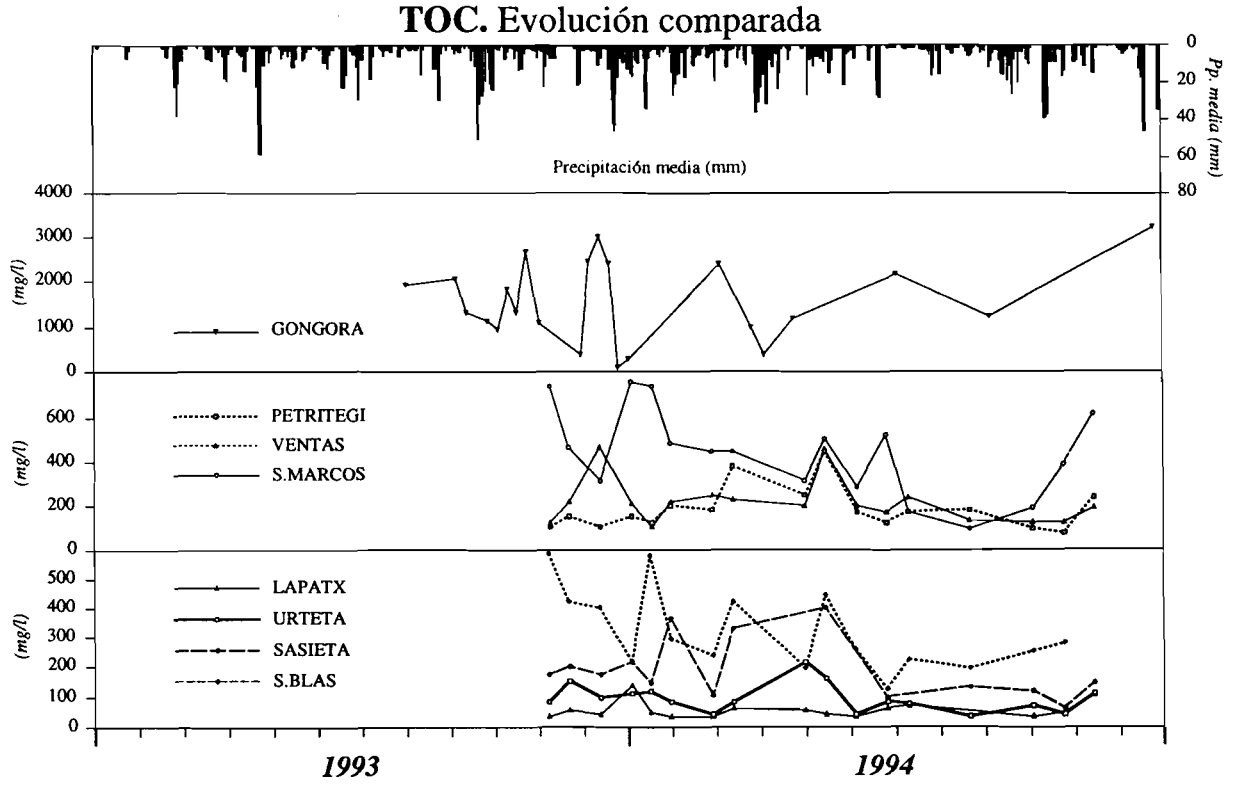


Figura 6.41. Evolución comparada de TOC en los lixiviados de los vertederos estudiados.

Lo que más llama la atención en este conjunto de gráficas (Figura 6.42 a 6.46) es el hecho de que en ningún caso se evidencien tendencias temporales en las evoluciones de estos parámetros. En cambio, en relación a la forma de las evoluciones sí pueden resaltarse algunos aspectos:

Fe:
Petritegi: valores poco variables y bajos hasta Mayo-Junio de 1991 y entre Enero y Diciembre de 1994.
Urteta: variabilidad mayor y más picos a partir de Mayo de 1991.
Mn
Petritegi: valores poco variables y bajos hasta Mayo-Junio de 1991 y entre Enero y Diciembre de 1994.
Al:
Petritegi: valores poco variables y bajos hasta Mayo-Junio de 1991 y entre Enero y Diciembre de 1994.
San Blas: valores muy bajos y homogéneos salvo 2 análisis de Febrero y Marzo de 1994.
Zn:
Petritegi: valores poco variables y bajos hasta Mayo-Junio de 1991 y entre Enero y Diciembre de 1994.
Urteta: variabilidad mayor y más picos a partir de Mayo de 1991.
San Marcos: valores bajos y homogéneos salvo 2 muestras tomadas a finales de 1991 y la primera de 1992.
San Blas: valores bajos y homogéneos salvo 2 análisis de Febrero y Marzo de 1994.

	Fe (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	97	-	13,9	7,48	22,5	162	134,6	9,77	0,4	4,58	14,4	135	4,07	17,05	log
2	SAN MARCOS	108	-	16,2	15,5	10,5	64,8	48,51	14,7	0,49	7,5	22,2	49	0,95	0,83	normal
3	PETRITEGI	90	-	21,3	7,51	39,4	185	175,23	9,91	0,77	3,94	13,9	176	2,86	7,22	log
4	VENTAS	98	-	4,98	4,43	2,50	50,2	13,96	2,51	0,54	3,29	5,8	14,5	1,55	3,19	normal
5	URTETA	91	1 (1,1)	13,4	8,26	13,3	99,8	-	13,6	< 0,1	4,6	18,2	54	1,43	1,27	log
6	SASIETA	66	-	13,2	10,6	12,2	92,5	67,59	12,5	0,81	4,6	17,1	68,4	2,10	5,88	normal
7	SAN BLAS	37	-	11,4	6,72	9,91	87,2	48,8	11,3	1,4	4,75	16	50,2	2,06	5,02	normal
	LOS 7 JUNTOS	587	1 (0,17)	13,6	7,54	20,3	149	175,95	11,45	< 0,1	4,35	15,8	176	4,86	29,22	log
8	GONGORA	105	-	61,1	50	42,6	69,7	186,4	50,5	2,6	31	81,5	189	1,09	0,70	normal

	Mn (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	100	-	2,39	1,81	1,60	67,1	10,35	1,23	0,35	1,48	2,71	10,7	2,30	7,08	
2	SAN MARCOS	108	-	2,97	2,9	1,50	50,5	7,47	1,84	0,38	1,91	3,74	7,85	0,93	1,25	normal
3	PETRITEGI	96	1 (1,04)	1,61	1,18	1,83	114	-	1,33	< 0,02	0,41	1,74	10,8	2,52	7,43	log
4	VENTAS	98	-	2,71	2,44	1,88	69,5	14,47	2,67	0,13	1,23	3,90	14,6	2,56	14,22	normal
5	URTETA	91	-	3,59	3,6	1,75	48,9	10,41	1,87	0,69	2,58	4,45	11,1	1,10	3,50	normal
6	SASIETA	66	-	2,74	2,35	2,52	91,9	14,13	1,57	0,07	1,5	3,07	14,2	2,15	6,09	
7	SAN BLAS	37	-	1,09	0,98	0,80	73,1	4,02	0,94	0,12	0,45	1,38	4,14	1,68	3,94	normal
	LOS 7 JUNTOS	596	1 (0,16)	2,56	2,15	1,9	74,3	14,59	2,34	< 0,02	1,25	3,59	14,6	1,81	6,35	
8	GONGORA	106	-	1,98	1,8	1,14	57,5	5,3	1,4	0,2	1,2	2,6	5,5	0,96	0,74	normal

	Al (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	82	4 (4,9)	1,1	0,6	1,26	115	1,2	< 0,2	0,3	1,5	8	2,80	10,59	log
2	SAN MARCOS	86	3 (3,5)	1,60	1,07	1,63	102	1,37	< 0,02	0,59	1,96	8,7	2,14	4,87	log
3	PETRITEGI	77	4 (5,2)	2,15	0,9	3,25	151	2,21	< 0,2	0,49	2,69	17,4	3,00	9,36	log
4	VENTAS	77	4 (5,2)	1,13	0,69	1,44	128	1,04	< 0,2	0,3	1,34	8,8	3,05	10,97	log
5	URTETA	70	2 (2,9)	1,37	0,78	1,80	131	1	< 0,2	0,4	1,4	9,2	2,76	7,64	log
6	SASIETA	54	7 (13)	0,55	0,42	0,46	83	0,49	< 0,2	0,21	0,7	2,4	1,79	3,79	log
7	SAN BLAS	32	3 (9,4)	2,03	1,05	3,76	186	1,15	< 0,2	0,8	1,95	22	4,89	23,48	log
	LOS 7 JUNTOS	478	27 (5,64)	1,40	0,8	2,1	150	1,11	< 0,02	0,4	1,51	22	4,82	32,59	log
8	GONGORA	105	5 (4,7)	1,65	0,8	2,37	143	1,2	< 0,1	0,4	1,6	14,4	3,12	11,009197	log

	Zn (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	99	15 (15,1)	0,13	0,08	0,17	127	-	0,12	< 0,02	0.04	0,16	1,14	3,26	13,68	log
2	SAN MARCOS	103	2 (1,9)	0,28	0,21	0,31	110	-	0,15	< 0,02	0.16	0,31	2,8	5,89	42,47	log
3	PETRITEGI	92	2 (2,2)	0,34	0,18	0,52	152	-	0,29	< 0,04	0.11	0,40	4,4	5,62	39,19	log
4	VENTAS	96	2 (2,1)	0,19	0,13	0,28	147	-	0,11	< 0,02	0.08	0,19	2,2	5,08	29,42	log
5	URTETA	90	5 (5,6)	0,52	0,34	0,68	133	-	0,48	< 0,02	0.16	0,64	4,05	3,46	13,52	log
6	SASIETA	66	7 (10,6)	0,15	0,085	0,15	104	-	0,17	< 0,02	0.04	0,21	0,92	2,39	8,04	log
7	SAN BLAS	37	-	0,24	0,16	0,40	163	2,35	0,18	0,05	0.08	0,26	2,4	4,60	21,66	log
	LOS 7 JUNTOS	583	33 (5,66)	0,27	0,16	0,42	156	-	0,21	< 0,02	0.08	0,29	4,4	5,63	41,53	
8	GONGORA	106	-	3,49	2,65	2,67	76,5	16,2	3,43	0,4	1.5	4,93	16,6	1,70	4,33	log

	Cr (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	98	51 (52)	0,046	-	0,11	244	-	< 0,02	-	0.03	0,88	6,00	38,34	
2	SAN MARCOS	105	17 (16,2)	0,079	0,059	0,08	96,7	0,062	< 0,02	0,039	0.1	0,46	2,35	6,77	log
3	PETRITEGI	96	15 (15,6)	0,14	0,08	0,17	124	0,118	< 0,02	0,043	0.16	1,08	3,08	10,97	log
4	VENTAS	96	10 (10,4)	0,13	0,094	0,11	84,7	0,12	< 0,02	0,06	0.18	0,57	1,75	3,81	log
5	URTETA	89	34 (38,2)	0,054	0,02	0,080	147	-	< 0,01	-	0.06	0,48	3,01	10,55	
6	SASIETA	66	12 (18,2)	0,081	0,06	0,07	81,4	0,08	< 0,02	0,04	0.12	0,28	1,23	0,77	log
7	SAN BLAS	37	1 (2,7)	0,20	0,14	0,15	75,2	0,14	< 0,02	0,11	0.25	0,7	1,51	1,95	normal
	LOS 7 JUNTOS	587	140 (23,8)	0,095	0,06	0,12	126	0,1	< 0,02	0,02	0.12	1,08	3,34	15,91	
8	GONGORA	105	40 (38)	0,081	0,1	0,09	111	-	< 0,05	-	0.1	0,9	7,18	62,997875	

Tabla 6.41. Resumen estadístico de los metales Fe, Mn, Al, Zn y Cr.

	Pb (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	36	23 (63,8)	0,19	-	0,37	196	-	< 0,02	-	0,095	1,54	2,40	4,76	
2	SAN MARCOS	47	28 (59,6)	0,16	-	0,30	193	-	< 0,02	-	0,14	1,38	2,94	7,80	
3	PETRITEGI	38	25 (65,7)	0,16	-	0,34	213	-	< 0,02	-	0,06	1,54	2,94	7,69	
4	VENTAS	38	25 (65,8)	0,17	-	0,32	188	-	< 0,02	-	0,11	1,3	2,40	4,57	log
5	URTETA	39	14 (35,9)	0,15	0,05	0,32	209	-	< 0,02	-	0,08	1,48	2,96	7,97	log
6	SASIETA	35	23 (65,7)	0,18	-	0,43	241	-	< 0,02	-	0,06	1,84	3,03	7,70	
7	SAN BLAS	34	21 (61,8)	0,18	-	0,38	212	-	< 0,02	-	0,053	1,42	2,50	4,66	
	LOS 7 JUNTOS	267	159 (59,5)	0,17	-	0,35	207	-	< 0,02	-	0,08	1,84	2,83	7,12	
8	GONGORA	106	62 (58,4)	0,108	-	0,099	91,2	-	< 0,05	-	0,13	0,6	2,37	6,82	

	Ni (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	36	19 (52,7)	0,10	-	0,17	163	-	< 0,02	-	0,08	0,8	2,53	6,51	log
2	SAN MARCOS	46	19 (41,3)	0,12	0,055	0,16	142	-	< 0,02	-	0,125	0,8	2,45	6,08	log
3	PETRITEGI	35	15 (42,8)	0,15	0,08	0,21	138	-	< 0,02	-	0,18	0,98	2,10	4,67	log
4	VENTAS	37	14 (37,8)	0,13	0,08	0,17	125	-	< 0,02	-	0,15	0,62	1,67	1,65	log
5	URTETA	37	21 (56,7)	0,097	-	0,15	153	-	< 0,02	-	0,11	0,54	1,94	2,39	
6	SASIETA	35	15 (42,9)	0,13	0,06	0,20	159	-	< 0,02	-	0,14	0,94	2,59	6,68	log
7	SAN BLAS	34	16 (47,1)	0,14	0,045	0,20	148	-	< 0,02	-	0,17	0,98	2,51	6,89	log
	LOS 7 JUNTOS	260	119 (45,7)	0,12	0,05	0,18	145	-	< 0,02	-	0,14	0,98	2,38	6,10	
8	GONGORA	106	6 (5,6)	0,185	0,1	0,19	102	0,1	< 0,05	0,1	0,2	1,9	6,34	50,764864	

	Cu (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	35	23 (65,7)	0,029	-	0,04	137	-	< 0,02	-	0,03	0,24	4,42	20,11	
2	SAN MARCOS	46	21 (45,7)	0,034	0,02	0,034	102	-	< 0,02	-	0,04	0,21	3,42	13,79	
3	PETRITEGI	37	4 (10,8)	0,169	0,14	0,13	75,9	0,205	< 0,02	0,055	0,26	0,5	0,76	-0,13	normal
4	VENTAS	37	13 (35,1)	0,032	0,02	0,02	67,2	-	< 0,02	-	0,04	0,1	1,75	3,14	log
5	URTETA	37	14 (37,8)	0,032	0,02	0,022	70	-	< 0,02	-	0,04	0,1	1,52	1,70	log
6	SASIETA	36	20 (55,6)	0,024	-	0,01	51,8	-	< 0,02	-	0,038	0,06	0,99	0,43	
7	SAN BLAS	35	6 (17,1)	0,064	0,04	0,10	151	0,03	< 0,02	0,03	0,06	0,58	4,65	21,94	log
	LOS 7 JUNTOS	263	101 (38,4)	0,054	0,02	0,079	146	-	< 0,02	-	0,05	0,58	3,57	14,74	
8	GONGORA	104	84 (80,7)	0,043	-	0,044	101	-	< 0,05	-	-	0,3	3,15	12,250287	

	Cd (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.
1	LAPATX	40	34 (85)	0,028	-	0,04	140	-	< 0,02	-	-	0,22	-	-
2	SAN MARCOS	49	42 (85,7)	0,024	-	0,034	138	-	< 0,02	-	-	0,16	-	-
3	PETRITEGI	38	33 (86,8)	0,029	-	0,04	140	-	< 0,02	-	-	0,18	-	-
4	VENTAS	41	34 (82,9)	0,027	-	0,03	116	-	< 0,02	-	-	0,14	-	-
5	URTETA	41	34 (82,9)	0,026	-	0,032	123	-	< 0,02	-	-	0,14	-	-
6	SASIETA	36	31 (86,1)	0,031	-	0,04	137	-	< 0,02	-	-	0,18	-	-
7	SAN BLAS	35	30 (85,7)	0,028	-	0,038	137	-	< 0,02	-	-	0,18	-	-
	LOS 7 JUNTOS	280	238 (85)	0,027	-	0,036	133	-	< 0,02	-	-	0,22	-	-
8	GONGORA	100	100 (100)	-	-	-		-	< 0,05	-	-	< 0,05	-	-

	Hg (µg/l)	N	n (%)	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Q_1	Q_3	Skew.	Kurt.
1	LAPATX	55	50 (90,9)	< 0,1	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	SAN MARCOS	59	52 (88,1)	< 0,5	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	PETRITEGI	54	50 (92,5)	< 0,5	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	VENTAS	53	48 (90,57)	< 0,5	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	URTETA	48	47 (97,9)	< 0,5	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	SASIETA	47	45 (95,7)	< 0,5	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	SAN BLAS	37	37 (100)	< 1	< 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LOS 7 JUNTOS	353	329 (93,2)	< 0,1	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 6.42. Resumen estadístico de los metales Pb, Ni, Cu, Cd y Hg.

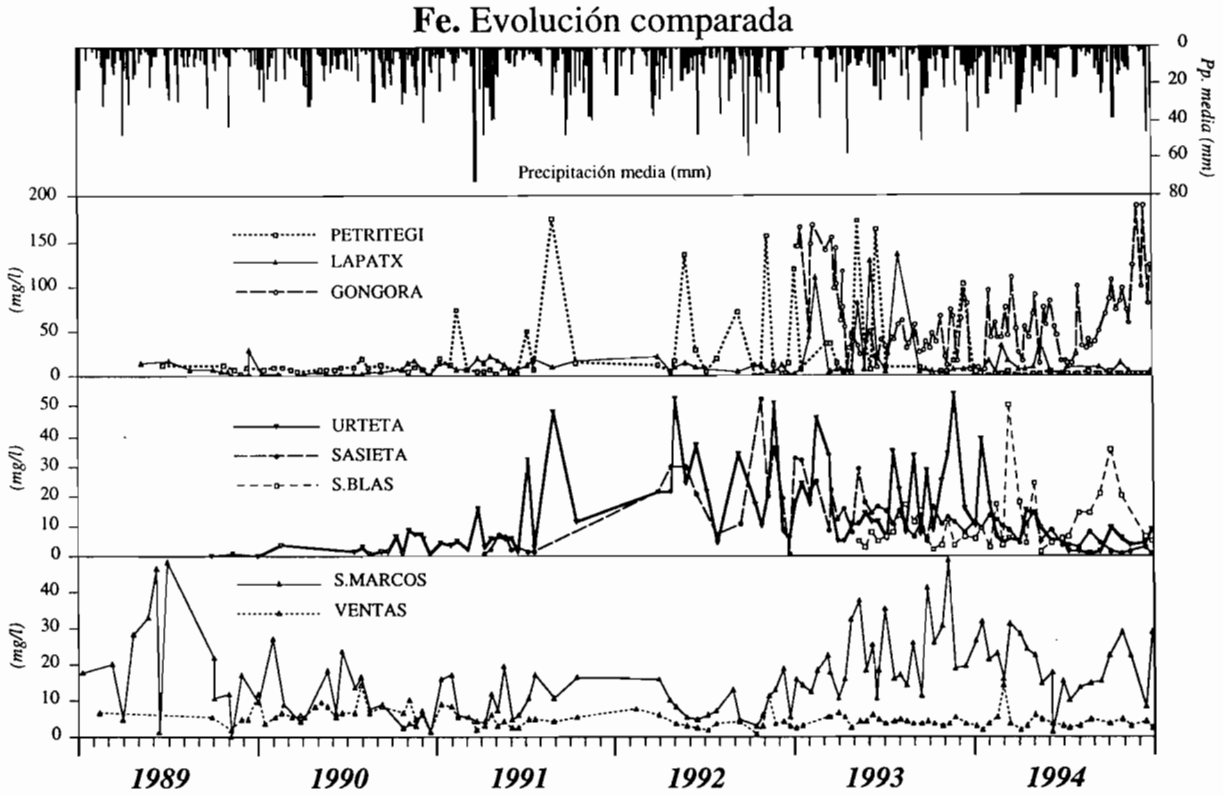


Figura 6.42. Evolución comparada de Fe en los lixiviados de los vertederos estudiados.

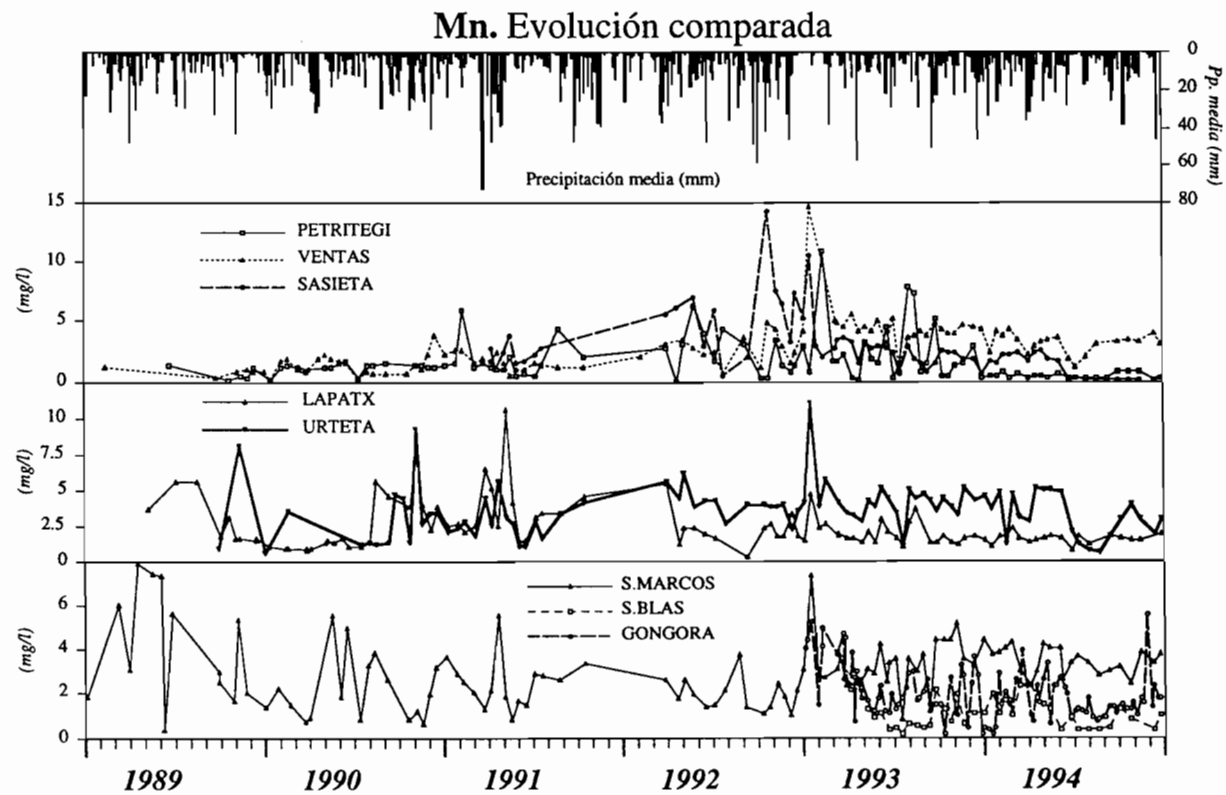


Figura 6.43. Evolución comparada de Mn en los lixiviados de los vertederos estudiados.

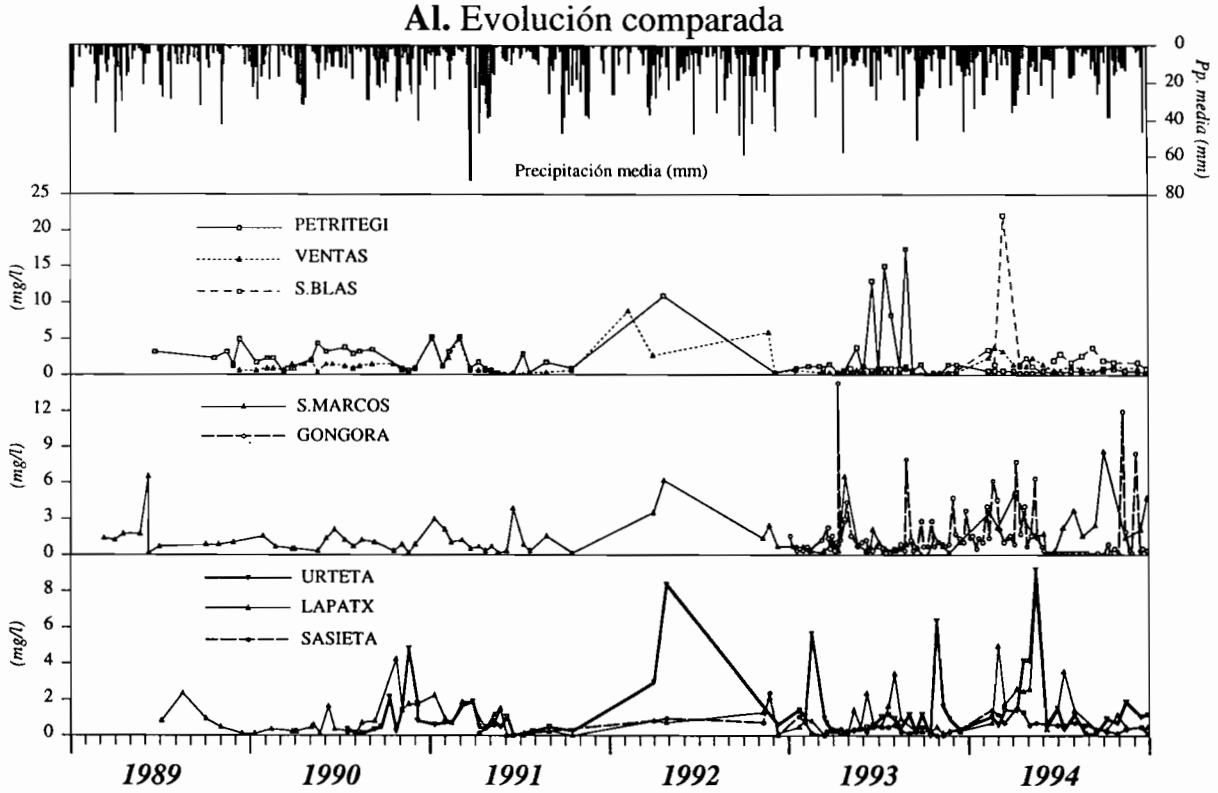


Figura 6.44. Evolución comparada de Al en los lixiviados de los vertederos estudiados.

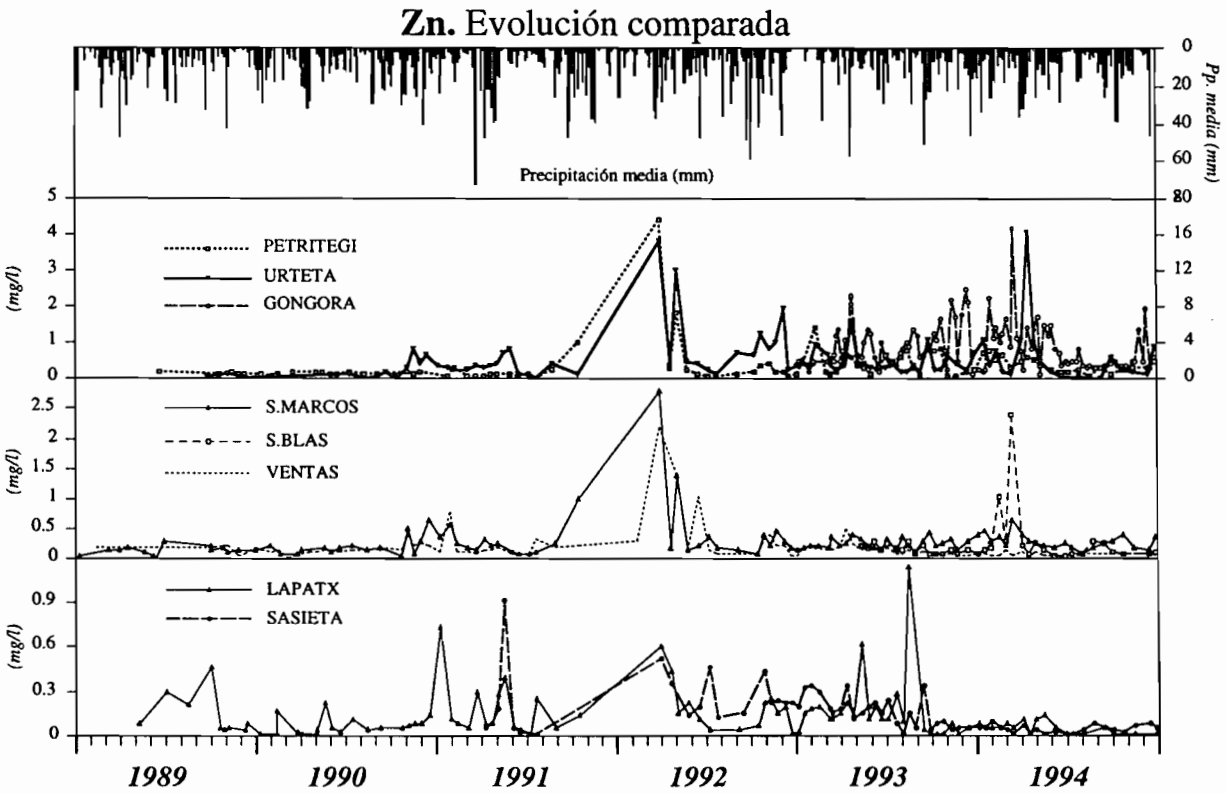


Figura 6.45. Evolución comparada de Zn en los lixiviados de los vertederos estudiados.

Ventas: valores bajos y homogéneos salvo 3 muestras tomadas en 1992.
Cr:
Urteta: variabilidad mayor y más picos a partir de Mayo de 1991.
San Blas: valores muy bajos a partir de Abril de 1994.

Estos mismos parámetros en el resto de vertederos presentan evoluciones irregulares, con rangos de variación relativamente importantes y con frecuentes picos, lo que es una muestra de la dificultad existente a la hora de intentar hablar de una o unas evoluciones temporales características en lo que a estos metales se refiere.

Por otra parte, llama mucho la atención el hecho de que en 4 de estas gráficas se de un caso en el que coinciden los picos en los distintos vertederos. Estos casos son: Mn (análisis de Enero de 1993); Al (análisis de Abril de 1992); Zn (análisis de Marzo de 1992); Cr (análisis de Agosto de 1991). En los casos del Mn y Cr los picos coinciden con periodos bastante secos, mientras que en los otros 2 casos coinciden con periodos lluviosos. Aunque no se tiene una total seguridad al respecto, tal disparidad de comportamiento hace sospechar sobre una posible contaminación de las muestras durante el muestreo o transporte al laboratorio o de que se trate de un problema analítico.

Metales mayoritarios (Fe, Mn y Al)

Estos 3 metales son los más abundantes en todos los vertederos. Normalmente, sus medias siempre son superiores a 1 mg/l y sus medianas a 0,5 mg/l (en Góngora también el Zn supera esos valores).

El Fe, como ya se ha comentado en capítulos anteriores, es el más abundante en todos ellos, aunque presenta importantes variaciones de unos vertederos a otros. Sus medias varían entre 4,98 (Ventas) y 61,1 mg/l (Góngora). También el Mn y Al varían considerablemente entre los distintos vertederos. Las medias del Mn varían entre 1,09 (San Blas) y 3,59 mg/l (Urteta) y las medianas de Al, parámetro central más representativo en este caso, entre 0,42 (Sasieta) y 1,07 mg/l (San Marcos).

Ordenados los vertederos según sus valores centrales obtenemos las secuencias que se citan, en las que no se manifiesta ninguna relación con respecto a la edad del vertedero:

Fe: Góngora >> Petritegi > S. Marcos > Sasieta = Urteta = Lapatx > San Blas > Ventas
Mn: Urteta > S. Marcos > Ventas = Sasieta > Lapatx > Góngora > Petritegi > San Blas
Al: Petritegi = San Blas > Góngora = S. Marcos > Urteta > Ventas > Lapatx > Sasieta

La variabilidad de estos metales en cada vertedero, observable en las figuras previas, también queda reflejada por los distintos parámetros de dispersión que aparecen en los resúmenes estadísticos de la Tabla 6.41

Metales minoritarios (Zn, Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg)

Estos metales presentan, en general, valores bastante bajos. Salvo la excepción ya mencionada del Zn en Góngora (media y mediana de 3,49 y 2,65 mg/l respectivamente), en todos los vertederos presentan valores medios inferiores a 0,52 mg/l y medianas inferiores a 0,34 mg/l, siendo frecuentes en ambos casos valores del orden de 0,10 o incluso menores.

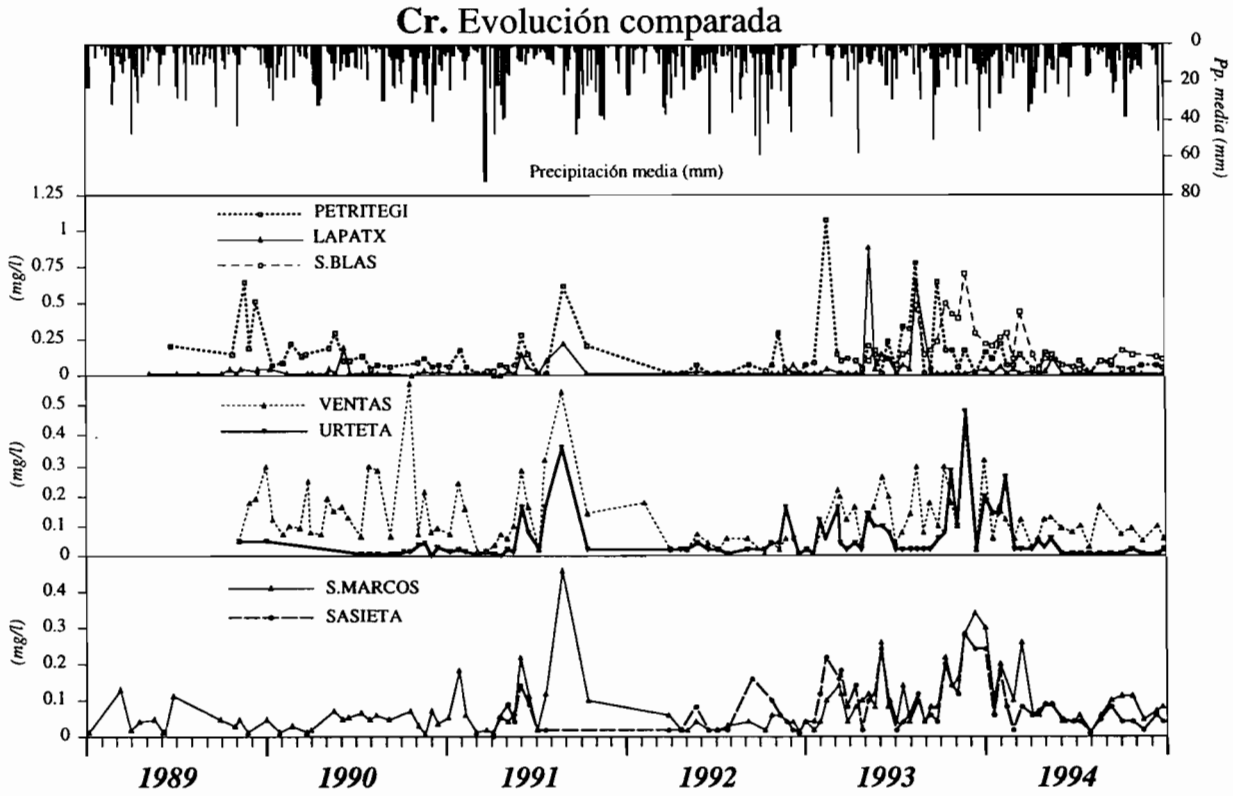


Figura 6.46. Evolución comparada de Cr en los lixiviados de los vertederos estudiados.

Los porcentajes de determinaciones situadas por debajo de los límites de detección respectivos son muy elevados, especialmente en los casos de Pb, Ni, Cu, Cd y Hg. Esto hace que en ocasiones no tenga sentido calcular los valores de Q_1, mediana e incluso Q_3 y que las medias calculadas no tengan tanta significación como en el caso de otros parámetros.

El hecho de que los valores presenten una dispersión apreciable (rara vez se ajustan a distribuciones normales) limita más si cabe la representatividad de los valores medios. Es por estos motivos por lo que en estos casos no se considera útil, salvo para el Zn, estudiar las secuencias de los vertederos ordenados en función de sus valores centrales.

Zn: Góngora >>> Urteta > Petritegi > S. Marcos > San Blas > Ventas > Sasieta > Lapatx

Dentro de estos metales, se observa que los relativamente más abundantes son el Zn, Pb y Ni (valores medios superiores a 0,10 mg/l). El resto, especialmente el Cd y Hg son sensiblemente menos abundantes.

6.6.5. IONES MAYORITARIOS Y MINORITARIOS

En este apartado se consideran la totalidad de los iones analizados (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, NO_2^- y PO_4^{3-}). Del NH_4^+ sólo se presenta su gráfica de evoluciones comparadas (el resumen estadístico se presentó en la Tabla 6.40). De la conductividad también se presenta su evolución comparada.

Los resúmenes estadísticos de estos parámetros (Tabla 6.43 y 6.44) incluyen la totalidad de la información disponible. En cambio, en las gráficas de evolución (Figuras 6.47 a 6.52) únicamente se representa el periodo comprendido entre Julio de 1993 y Diciembre de 1994,

periodo en el que se dispone de información de todos ellos. No se han realizado las gráficas relativas a NO_2^- debido a la escasez de datos disponibles.

Cationes mayoritarios

Todos los cationes presentan una variabilidad apreciable de unos a otros vertederos. Los valores medios del Na^+ varían entre 142 (Lapatx) y 1.089 mg/l (Ventas). Los de K^+ entre 99,2 (Lapatx) y 377 mg/l (San Blas). Los de Ca^{2+} entre 88,9 (Lapatx) y 170 mg/l (San Marcos), y los de Mg^{2+} entre 41,6 (Lapatx) y 123 mg/l (Sasieta). Como queda claro, en Lapatx se dan los valores más bajos de estos cationes. Las clasificaciones de los vertederos según sus valores medios se presenta a continuación:

Na^+:	Ventas	> Sasieta	> S. Marcos	> San Blas	> Petritegi	> Urteta > Lapatx
K^+:	San Blas	> Ventas	> Sasieta	> Petritegi	> S. Marcos	> Urteta > Lapatx
Ca^{2+}:	S. Marcos	> San Blas	> Urteta	> Ventas	> Petritegi	> Sasieta > Lapatx
Mg^{2+}:	Sasieta	> Petritegi	>San Blas	> Ventas	> Urteta	> S. Marcos = Lapatx

Como ocurría con otros parámetros, no se aprecia dependencia alguna con la antigüedad de los vertederos ni con su estado de actividad o clausura. Lo único llamativo es los ya comentados bajos valores que se dan en el caso de Lapatx. Respecto a la dispersión de los valores dentro de cada vertedero cabe decir que no es muy importante. Los coeficientes de variación de estos cationes en los distintos vertederos son bastante similares y en ningún caso pasan del 53%.

A partir de la serie de gráficas en las que se refleja la evolución comparada de la conductividad y de los cationes mayoritarios (incluida la de NH_4^+) pueden deducirse las siguientes conclusiones:

- En el periodo considerado no se aprecian tendencias temporales en la evolución de estos parámetros en ninguno de los vertederos. Los valores se mantienen dentro de un mismo rango más o menos variable durante este periodo.

- Estas gráficas permiten visualizar las diferencias en los órdenes de magnitud de cada parámetro entre los diferentes vertederos, ya deducidas a partir de las tablas estadísticas y expresadas en las secuencias que se citan líneas arriba.

- Sí se aprecian ciertas semejanzas entre las evoluciones de estos cationes en los diferentes vertederos, excepto en el caso de Ca^{2+}, en donde la relación es nula. Este comportamiento similar está condicionado en gran medida por los eventos de precipitación importantes (que afectan más o menos por igual a todos los vertederos, dando lugar a importantes aumentos del caudal de lixiviados).

Ejemplos claros de estas semejanzas en las evoluciones pueden apreciarse en las gráficas referentes a la conductividad, Na^+, K^+, Mg^{2+} y NH_4^+ (descensos de Enero de 1994 y de Marzo-Abril del mismo año, coincidiendo con periodos muy lluviosos).

Aniones mayoritarios

Los aniones mayoritarios (CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-) también presentan una

variabilidad considerable de unos vertederos a otros (Tablas 6.43 y 6.44). Los valores medios de CO_3H^- varían entre 1.295 (Lapatx) y 3.850 mg/l (Sasieta). Los de Cl^- entre 175 (Lapatx) y 1.803 mg/l (Ventas). Los de SO_4^{2-} entre 21,2 (Sasieta) y 282 mg/l (San Blas), y los de NO_3^- entre 5,29 (San Blas) y 46,6 mg/l (Petritegi). Ordenados los vertederos según sus valores centrales obtenemos las siguientes secuencias:

CO_3H^-: Sasieta > San Blas > Ventas > Petritegi > S. Marcos > Urteta > Lapatx
Cl^-: Ventas > Sasieta > S. Marcos > Petritegi > San Blas > Urteta > Lapatx
SO_4^{2-}: San Blas > Petritegi > Ventas > Urteta > S. Marcos > Lapatx > Sasieta
NO_3^-: Petritegi > Urteta > Ventas > Sasieta > Lapatx > S. Marcos > San Blas

En estas secuencias tampoco se aprecian relaciones con la edad de los vertederos ni con su estado de actividad o clausura.

La dispersión de los valores dentro de cada vertedero es mayor que la que presentaban los cationes mayoritarios, especialmente en los casos de SO_4^{2-} y NO_3^-. En las gráficas de evoluciones comparadas (Figuras 6.50 a 6.52) además de esta variabilidad también puede observarse:

- La ausencia de tendencias temporales en la evolución de estos parámetros en los distintos vertederos y las diferencias en los órdenes de magnitud de cada parámetro entre los mismos.

- Ciertas semejanzas en las evoluciones de CO_3H^- y Cl^- en los diferentes vertederos. Este comportamiento similar está condicionado, como en el caso de los cationes, por los eventos de precipitación importantes. Ejemplos claros de estas semejanzas son los descensos generalizados que se dan en el segundo análisis de Enero de 1994 y en el periodo Marzo-Abril del mismo año, coincidiendo con periodos muy húmedos.

- En cambio, entre las evoluciones de SO_4^{2-} y NO_3^- no se manifiesta ninguna semejanza ni ninguna relación con los eventos de precipitación importantes.

Aniones minoritarios

Los resúmenes estadísticos de PO_4^{3-} y NO_2^- se muestran en la Tabla 6.44. Estos parámetros se caracterizan por presentar valores muy bajos en todos los vertederos aunque con ciertas diferencias entre ellos. Así, los valores medios de PO_4^{3-} varían entre 0,17 (Urteta) y 4,11 mg/l (Petritegi), y los de NO_2^- entre 0,38 (Sasieta) y 3,49 mg/l (Petritegi). También varían de forma importante dentro de cada vertedero (los valores de los coeficientes de variación son bastante superiores a los de los cationes y aniones mayoritarios).

En las secuencias siguientes se observa cómo los mayores valores se dan en el vertedero de Petritegi (clausurado). En el otro vertedero clausurado (Ventas) los valores son bastante inferiores. Como en todos los casos vistos hasta ahora, no hay ninguna dependencia con respecto a la edad de los vertederos.

PO_4^{3-}: Petritegi > San Blas > Ventas > S. Marcos > Sasieta > Lapatx > Urteta
NO_2^-: Petritegi > Urteta > Ventas > Lapatx > S. Marcos > Sasieta > San Blas

	Na^+ (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	33	142	140	42,3	29,7	169,4	43	75,6	115	158	245	0,68	0,32	normal
2	**SAN MARCOS**	43	558	626	220	39,4	824	397	115	337	734	939	-0,29	-1,09	normal
3	**PETRITEGI**	31	470	471	138	29,4	510	249	238	345	594	748	0,24	-0,95	normal
4	**VENTAS**	35	1.089	1.100	260	23,9	1.187	244	413	996	1.240	1.600	-0,52	0,45	normal
5	**URTETA**	33	411	427	141	34,2	650	121	102	347	468	752	-0,19	0,86	normal
6	**SASIETA**	30	843	841	127	15,1	577	186	533	748	934	1.110	-0,02	0,10	normal
7	**SAN BLAS**	32	519	513	143	27,6	768	166	312	419	585	1.080	1,81	5,45	normal
	LOS 7 JUNTOS	237	577	521	330	57	1.524	434	75,6	337	771	1.600	0,61	-0,10	normal

	K^+ (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	33	99,2	95,2	28,2	28,5	145,4	32,4	47,6	82,7	115	193	1,04	2,26	normal
2	**SAN MARCOS**	42	218	229	77,8	35,7	442	87	61	175	262	503	0,75	2,77	normal
3	**PETRITEGI**	30	273	261	75	27,4	257	114	158	213	327	415	0,38	-0,80	normal
4	**VENTAS**	35	306	274	162	53	913,2	102	86,8	237	339	1.000	2,48	8,13	normal
5	**URTETA**	32	129	132	37,9	29,3	167	33,5	25	117	151	192	-1,11	1,61	normal
6	**SASIETA**	29	295	301	45,8	15,5	178	64	202	257	321	380	0,00	-0,50	normal
7	**SAN BLAS**	32	377	368	99,4	26,4	565	113	164	320	433	729	1,02	3,41	normal
	LOS 7 JUNTOS	233	240	237	126	52,3	975	170	25	137	307	1.000	1,39	5,41	normal

	Ca^{2+} (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	32	88,9	84,8	32,0	35,9	153,1	28,4	23,9	71,5	99,9	177	0,78	1,15	normal
2	**SAN MARCOS**	42	170	155	91,3	53,8	606,9	74	9,1	126	200	616	2,87	12,06	normal
3	**PETRITEGI**	30	117	114	43,8	37,5	203,6	65,5	44,4	84,3	149,8	248	0,72	0,97	normal
4	**VENTAS**	35	134	127	50	37,2	272,6	51	59,4	102	153	332	1,97	5,53	normal
5	**URTETA**	33	146	147	59,2	40,6	282,3	71	11,7	112	183	294	0,15	0,17	normal
6	**SASIETA**	28	90,7	101	38,2	42,1	146	68	23	52,5	120,5	169	-0,05	-0,81	normal
7	**SAN BLAS**	31	155	154	69	44,6	319,7	88	43,3	105	193	363	0,89	1,03	normal
	LOS 7 JUNTOS	231	131	121	66	50,3	606,9	68	9,1	92	160	616	2,28	12,41	log

	Mg^{2+} (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	33	41,7	39,7	11,4	27,3	58	9,9	20	36,4	46,3	78	1,24	2,82	normal
2	**SAN MARCOS**	39	41,6	41,8	14,4	34,6	88,4	15,5	12,6	32,2	47,7	101	1,51	6,08	normal
3	**PETRITEGI**	31	88,1	83,5	33,1	37,6	111,2	59,3	45,8	57,7	117	157	0,61	-0,78	normal
4	**VENTAS**	35	50,8	49,7	10,2	20,1	43,1	11,7	27,9	46,1	57,8	71	-0,11	-0,29	normal
5	**URTETA**	33	48,4	52,6	13,6	28,1	58,6	15,2	11	41,1	56,3	69,6	-1,04	1,00	normal
6	**SASIETA**	30	123	119	20,3	16,4	97,1	20	85,9	112	132	183	0,92	1,20	normal
7	**SAN BLAS**	32	64,9	61,6	13,0	20	68,3	12,2	51,7	57,1	69,2	120	2,58	8,36	normal
	LOS 7 JUNTOS	233	63,9	54,2	32,5	50,9	172	28,8	11	42,6	71,4	183	1,29	1,08	

	CO_3H^- (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	**LAPATX**	28	1.295	1.280	253	19,5	1.062	330	778	1.125	1.455	1.840	0,14	-0,38	normal
2	**SAN MARCOS**	39	2.328	2.550	895	38,5	4.270	1.050	320	1.750	2.800	4.590	-0,36	0,31	normal
3	**PETRITEGI**	30	2.756	2.710	618	22,4	2.550	850	1.460	2.420	3.270	4.010	-0,09	-0,44	normal
4	**VENTAS**	30	2.781	2.795	767	27,6	3.020	883	1.060	2.325	3.208	4.080	-0,20	-0,33	normal
5	**URTETA**	28	1.634	1.713	288	17,6	1.210	435	1.070	1.403	1.838	2.280	-0,11	-0,53	normal
6	**SASIETA**	29	3.850	3.990	566	14,7	2.570	800	2.150	3.455	4.255	4.720	-1,03	1,12	normal
7	**SAN BLAS**	31	2.914	2.810	507	17,4	2.050	780	1.810	2.520	3.300	3.860	0,18	-0,71	normal
	LOS 7 JUNTOS	215	2.515	2.550	977	38,8	4.400	1.544	320	1.696	3.240	4.720	0,11	-0,80	normal

Tabla 6.43. Resumen estadístico de los iones Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} y CO_3H^-.

	Cl^- (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	97	175	170	56,6	32,2	319,3	65,5	67,7	137,5	203	387	0,91	1,33	normal
2	SAN MARCOS	103	822	872	395	48,1	1.931	580	34,3	570	1.150	1.965	-0,16	-0,39	normal
3	PETRITEGI	93	727	664	325	44,7	1.596	429,5	124	504,5	934	1.720	0,72	0,27	normal
4	VENTAS	95	1.803	1.820	771	42,8	3.921	930	58,9	1.320	2.250	3.980	0,07	0,16	normal
5	URTETA	86	592	616	246	41,5	1.010	425,5	200	361	787	1.210	0,25	-0,69	normal
6	SASIETA	64	1.046	1.075	772	73,8	4.986	624	23,8	659	1.283	5.010	2,37	9,89	
7	SAN BLAS	37	719	694	184	25,7	1.001	171	479	601	772	1.480	1,99	5,94	normal
	LOS 7 JUNTOS	575	843	702	681	80,7	4.986	809	23,8	331	1.140	5.010	1,66	4,17	

	SO_4^{2-} (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	53	1 (1,9)	35,2	32,1	18,2	51,6	13,8	< 10	26,1	39,9	122	2,35	8,66	
2	SAN MARCOS	62	15 (24,2)	36,5	23,2	39,3	108	45,1	< 0,8	8,87	54	187	1,69	2,85	
3	PETRITEGI	51	6 (11,7)	162	138	150	92,5	248	< 0,2	14,1	262	552	0,70	-0,56	normal
4	VENTAS	51	5 (9,8)	94,3	91	60,9	64,6	55	< 2	65	120	286	0,76	0,97	normal
5	URTETA	52	2 (3,8)	58,1	50,4	29,5	50,7	34,3	< 10	36,9	71,2	140	0,91	0,60	normal
6	SASIETA	48	21 (43,8)	21,2	10	25,9	122	-	< 0,8	-	32,2	121	1,69	3,11	log
7	SAN BLAS	37	1 (2,7)	282	227	152	53,8	213	< 10	176	389	712	0,72	0,28	normal
	LOS 7 JUNTOS	354	51 (14,4)	89,5	44,9	114	127	96	< 0,2	20,7	116,7	712	2,25	5,51	

	NO_3^- (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	52	15 (28,8)	6,25	3,6	6,79	109	-	< 0,4	-	10,45	27	1,19	0,77	log
2	SAN MARCOS	61	38 (62,3)	6,12	-	10,6	174	-	< 0,1	-	4,52	49,2	2,68	6,28	log
3	PETRITEGI	50	8 (16)	46,6	42,2	44	94,6	61,4	< 0,1	10,3	71,8	184	1,12	0,92	normal
4	VENTAS	52	14 (26,9)	32,2	22,7	33,7	105	-	< 1	-	43	160	2,11	5,16	log
5	URTETA	53	17 (32,1)	34,6	32,4	31,8	92	-	< 0,1	-	61,5	109	0,40	-1,10	
6	SASIETA	49	31 (63,3)	10,6	-	13,9	131	-	< 0,8	-	10,95	61,5	2,07	3,90	log
7	SAN BLAS	35	25 (71,4)	5,29	-	6,84	129	-	< 0,8	-	5,44	33,7	2,79	7,99	log
	LOS 7 JUNTOS	352	148 (42)	20,6	6,39	29,9	145	-	< 0,1	-	26,8	184	2,29	6,27	log

	PO_4^{3-} (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	91	3 (3,3)	0,24	0,19	0,20	81,4	-	0,17	< 0,03	0,13	0,3	1,06	1,92	4,36	log
2	SAN MARCOS	97	2 (2,1)	1,13	0,9	1,01	88,8	-	1,05	< 0,03	0,5	1,55	5,61	1,89	4,73	normal
3	PETRITEGI	89	-	4,11	1,77	4,61	112	16,94	5,96	0,06	0,83	6,78	17	1,29	0,43	log
4	VENTAS	87	2 (2,3)	1,94	1,48	1,63	84,0	-	2,3	< 0,03	0,61	2,91	6,6	0,88	0,03	normal
5	URTETA	79	10 (12,7)	0,17	0,12	0,16	93,1	-	0,18	< 0,03	0,06	0,24	0,71	1,46	1,75	log
6	SASIETA	63	4 (6,3)	0,31	0,28	0,22	71,6	-	0,34	< 0,03	0,14	0,48	0,87	0,57	-0,56	normal
7	SAN BLAS	37	-	2,08	1,82	1,19	57	5,26	1,52	0,55	1,19	2,71	5,81	1,11	1,18	normal
	LOS 7 JUNTOS	543	21 (3,86)	1,43	0,56	2,45	171	-	1,38	< 0,03	0,17	1,55	17	3,53	14,38	log

	NO_2^- (mg/l)	N	n (%)	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.	Distrib.
1	LAPATX	9	-	0,89	0,84	0,72	81,1	2,4	0,95	0,02	0,24	1,19	2,42	0,84	0,32	normal
2	SAN MARCOS	15	2 (13,3)	0,42	0,22	0,71	169	-	0,183	< 0,003	0,16	0,343	2,92	3,16	8,69	log
3	PETRITEGI	8	-	3,49	4,02	1,55	44,3	4,995	1,66	0,155	2,80	4,46	5,15	-1,30	0,81	normal
4	VENTAS	10	-	1,44	0,72	1,51	105	4,98	1,25	0,37	0,55	1,79	5,35	1,95	2,74	log
5	URTETA	9	-	2,036	1,34	2	98,1	6,022	3,12	0,058	0,33	3,45	6,08	0,87	-0,25	normal
6	SASIETA	7	-	0,38	0,16	0,36	94,7	0,938	0,609	0,057	0,121	0,73	0,995	0,70	-1,06	normal
7	SAN BLAS	9	1 (11,1)	0,196	0,16	0,17	84,9	-	0,287	< 0,003	0,048	0,335	0,488	0,43	-1,00	normal
	LOS 7 JUNTOS	67	3 (4,4)	1,18	0,5	1,52	128	-	1,41	< 0,003	0,16	1,57	6,08	1,59	1,48	log

Tabla 6.44. Resumen estadístico de los iones Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-} y NO_2^-.

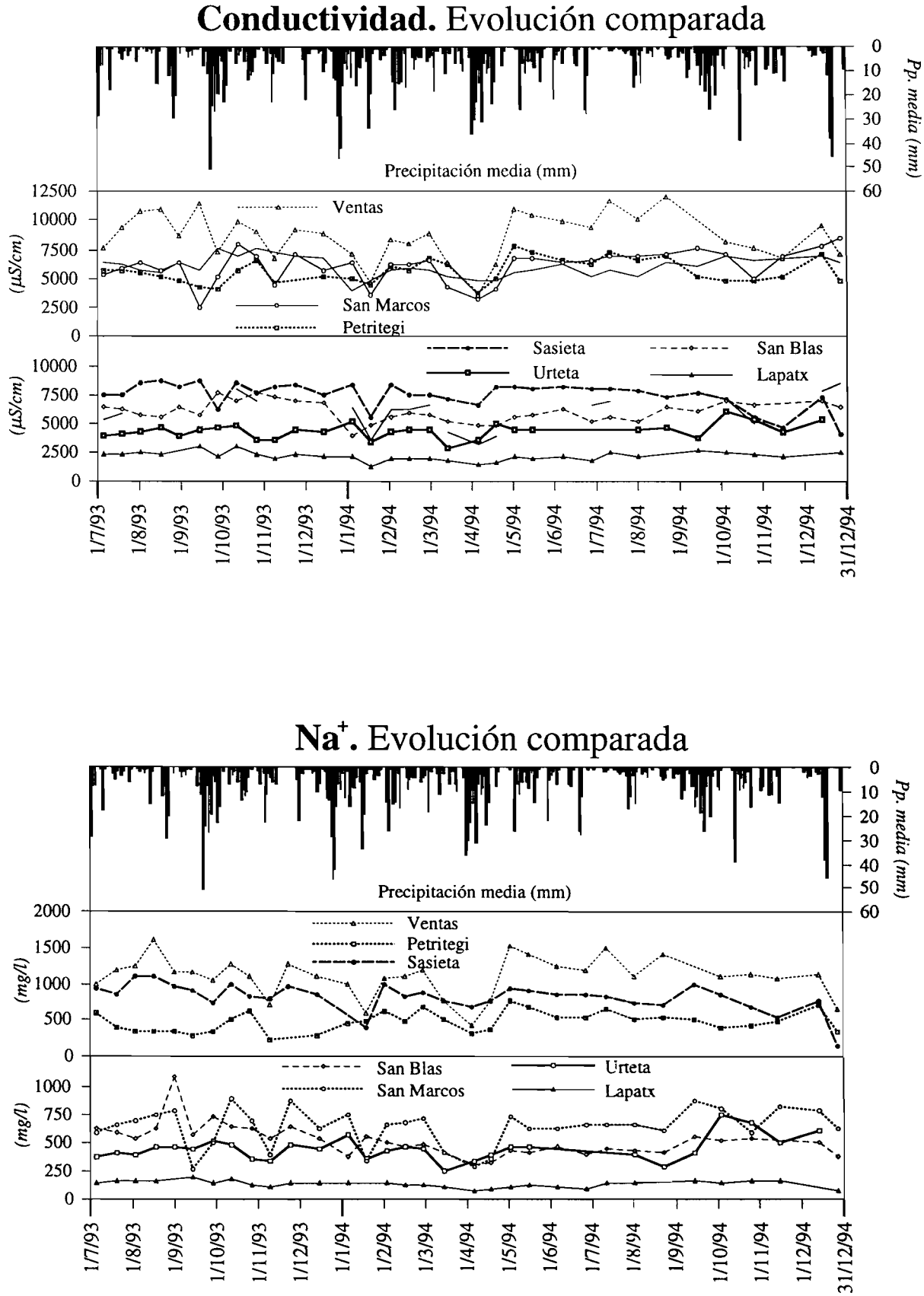
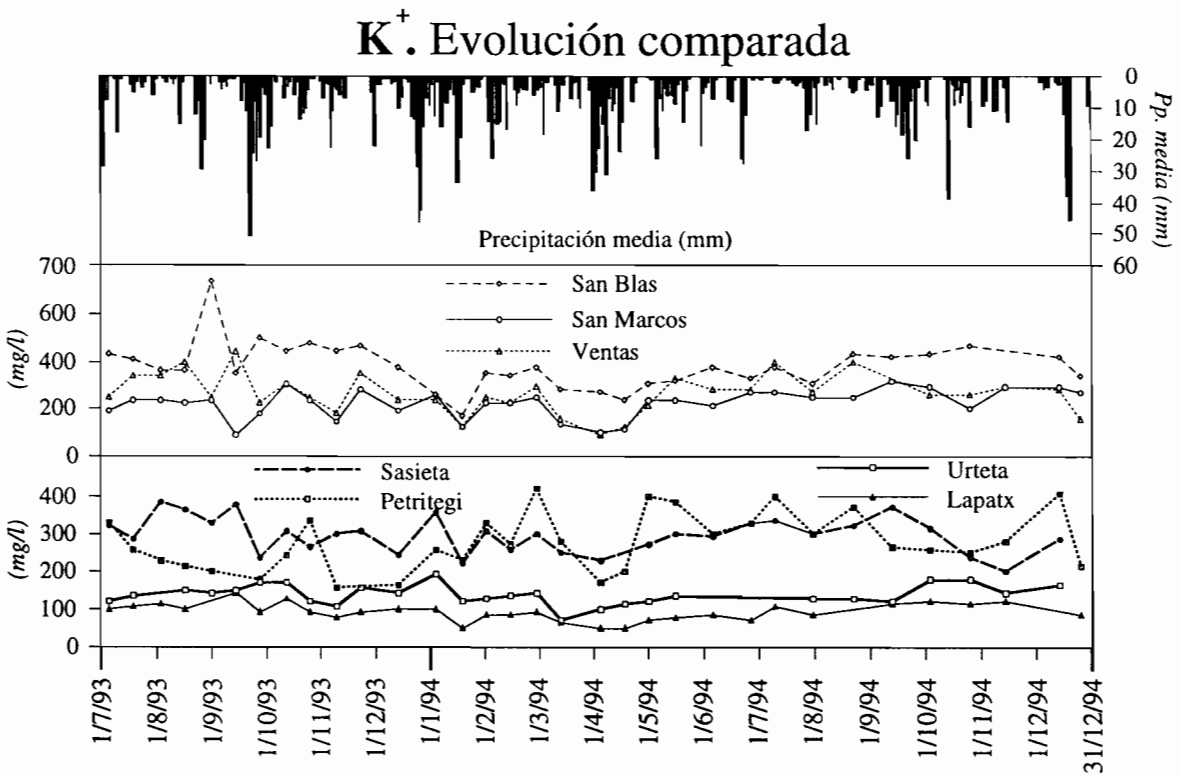


Figura 6.47. Evolución comparada de Conductividad y Na^+ en los lixiviados de los vertederos estudiados.



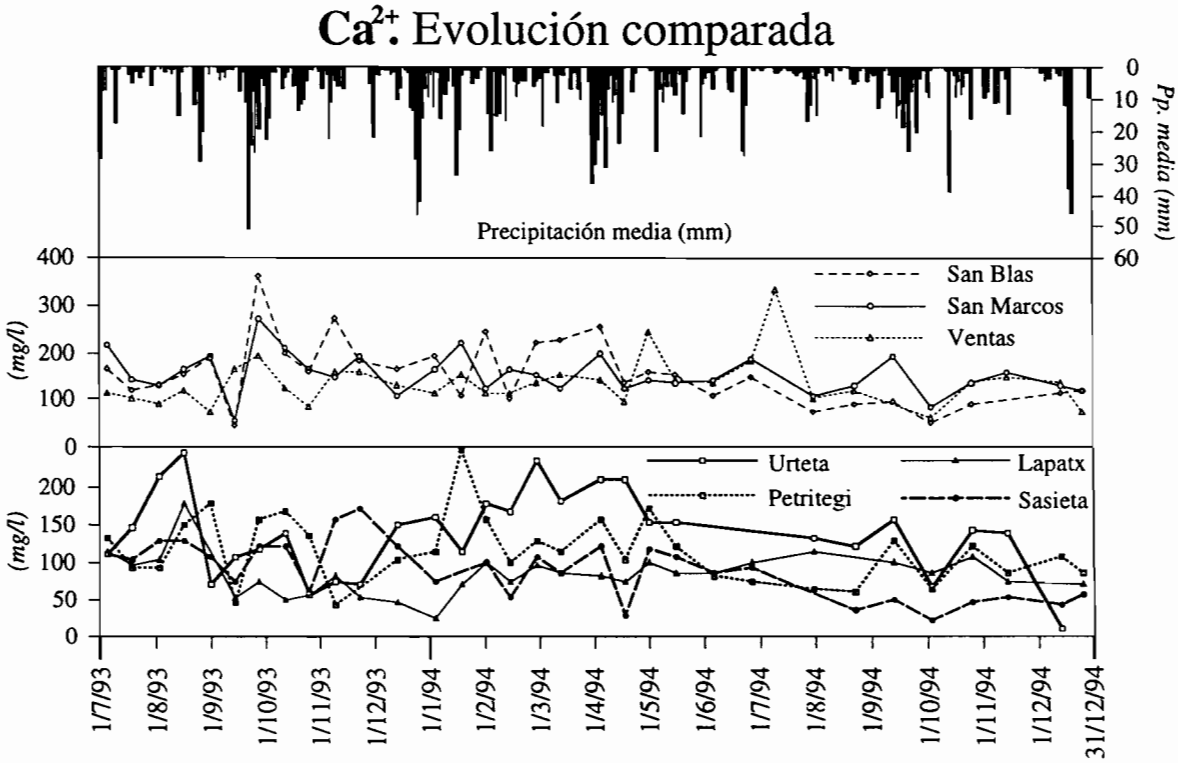


Figura 6.48. Evolución comparada del K^+ y Ca^{2+} en los lixiviados de los vertederos estudiados.

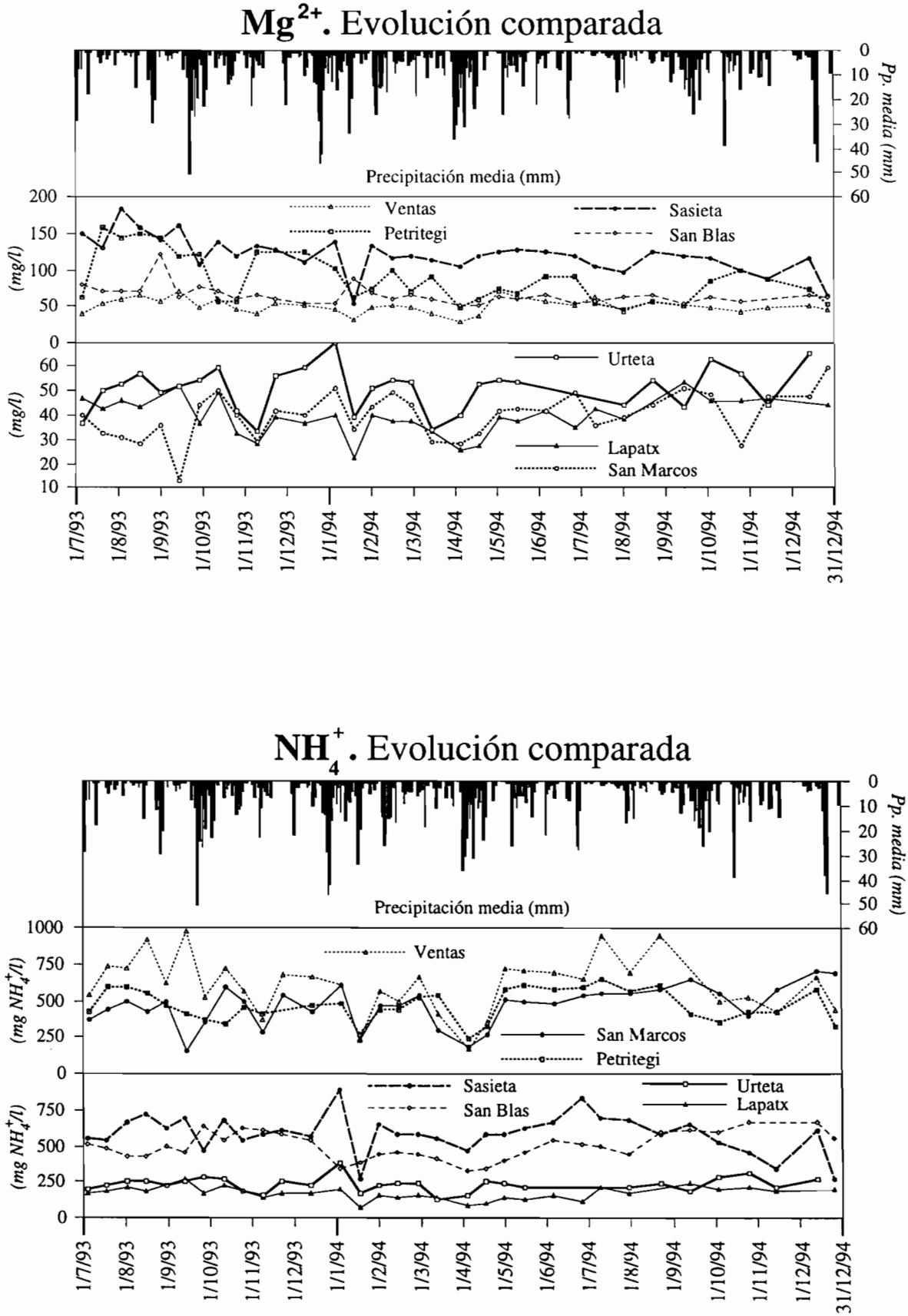
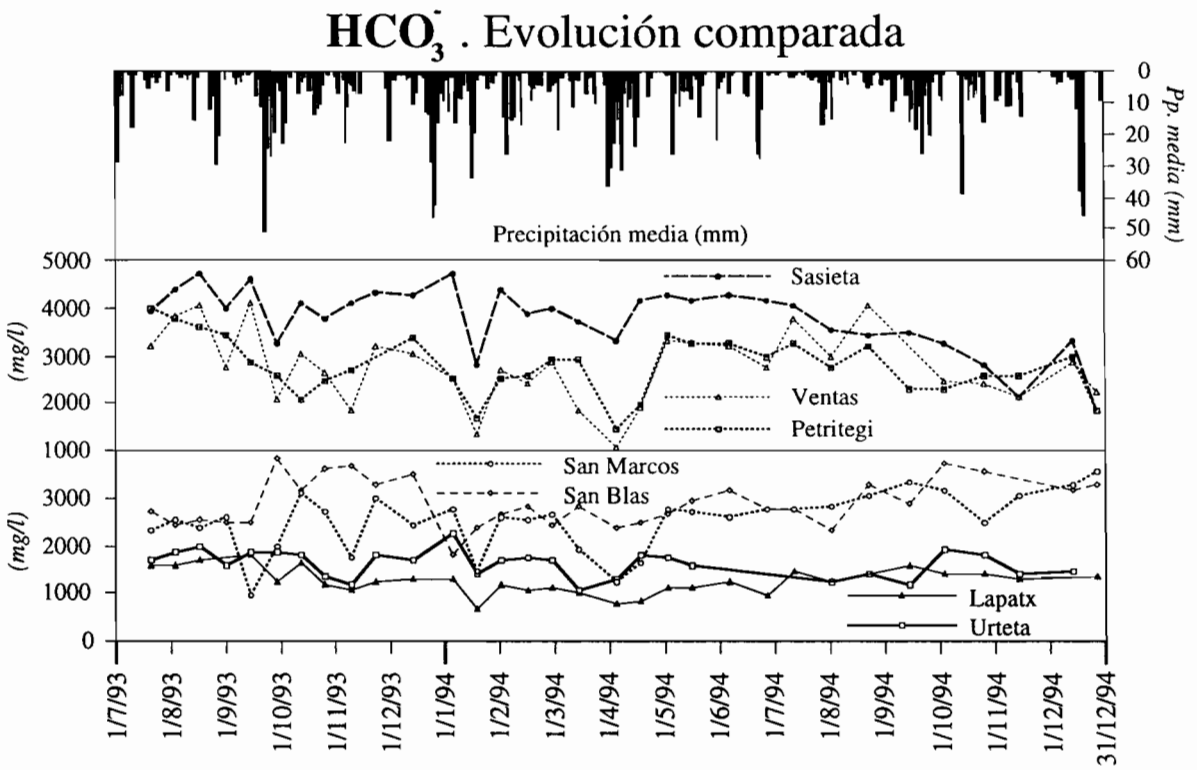


Figura 6.49. Evolución comparada de Mg^{2+} y NH_4^+ en los lixiviados de los vertederos estudiados.



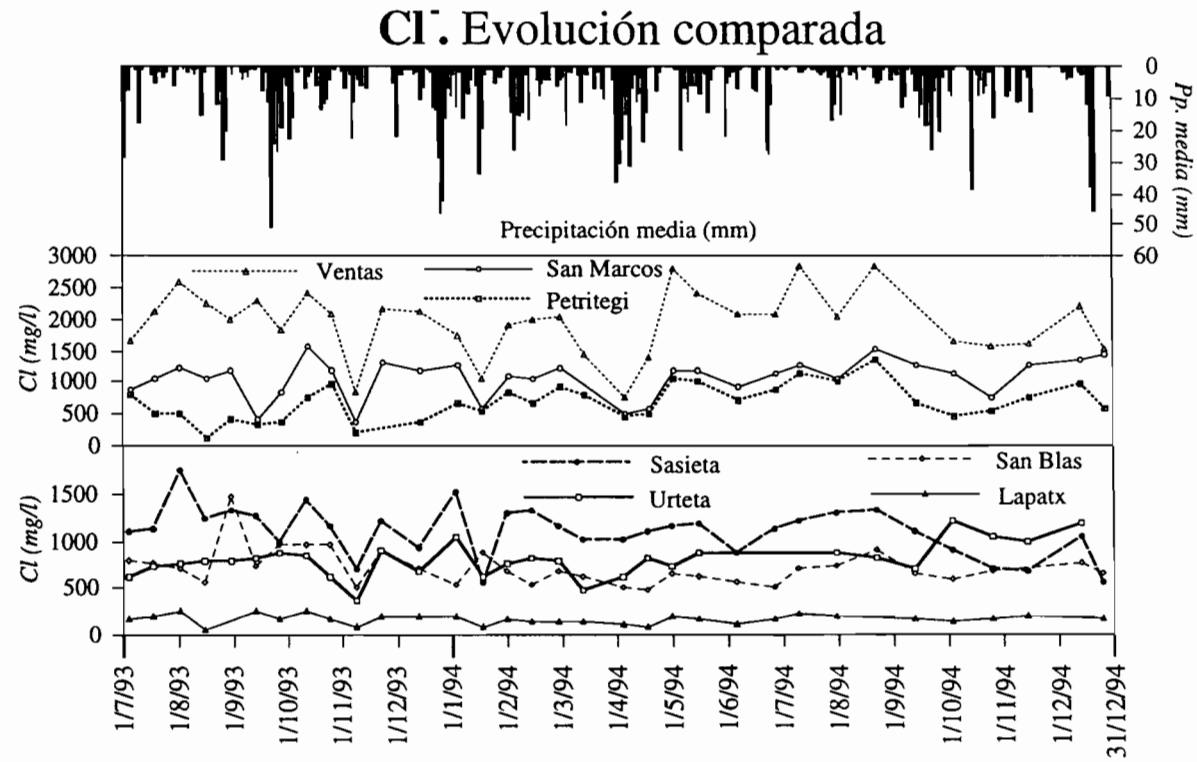


Figura 6.50. Evolución comparada de HCO_3^- y Cl^- en los lixiviados de los vertederos estudiados.

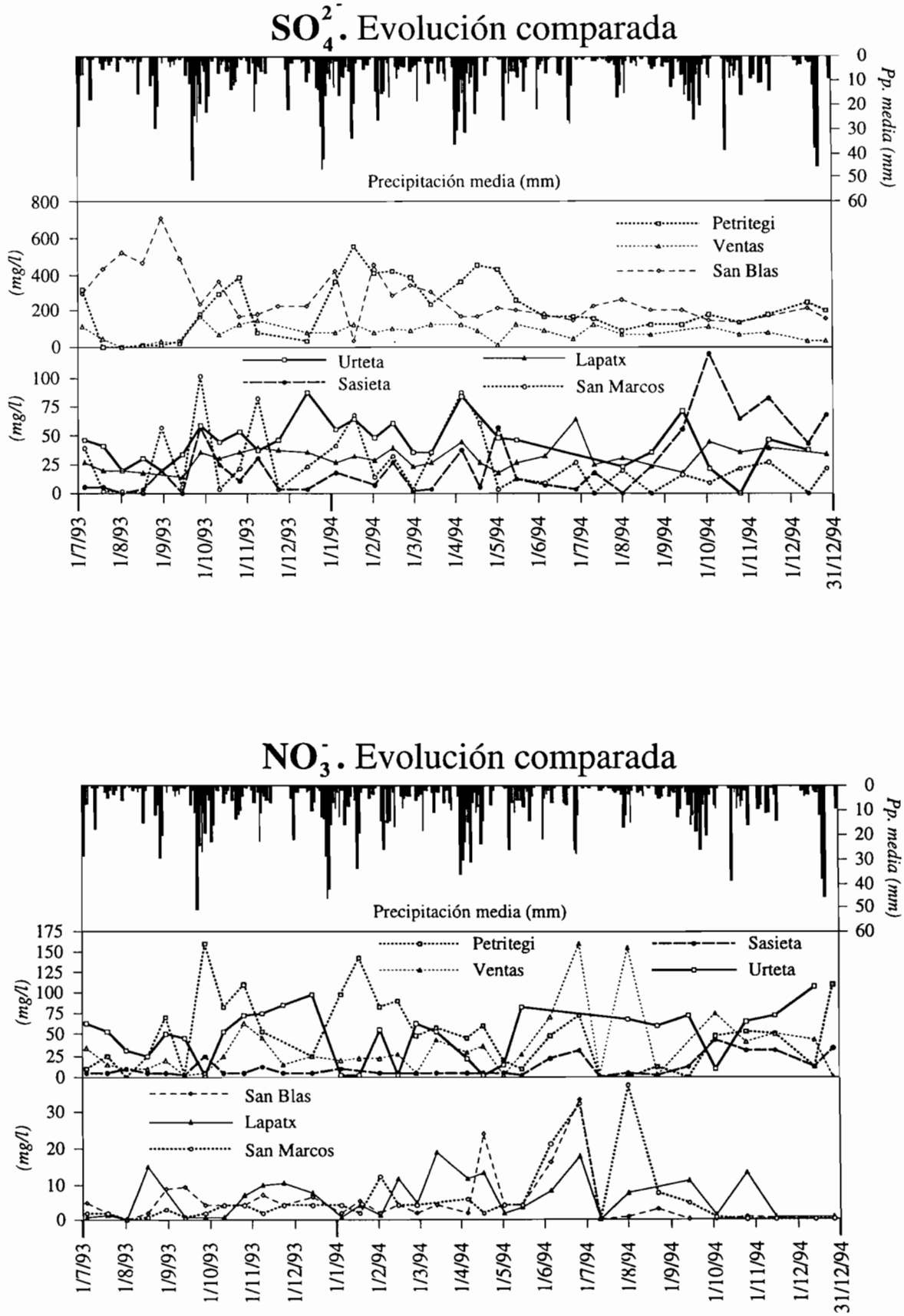


Figura 6.51. Evolución comparada de SO_4^{2-} y NO_3^- en los lixiviados de los vertederos estudiados.

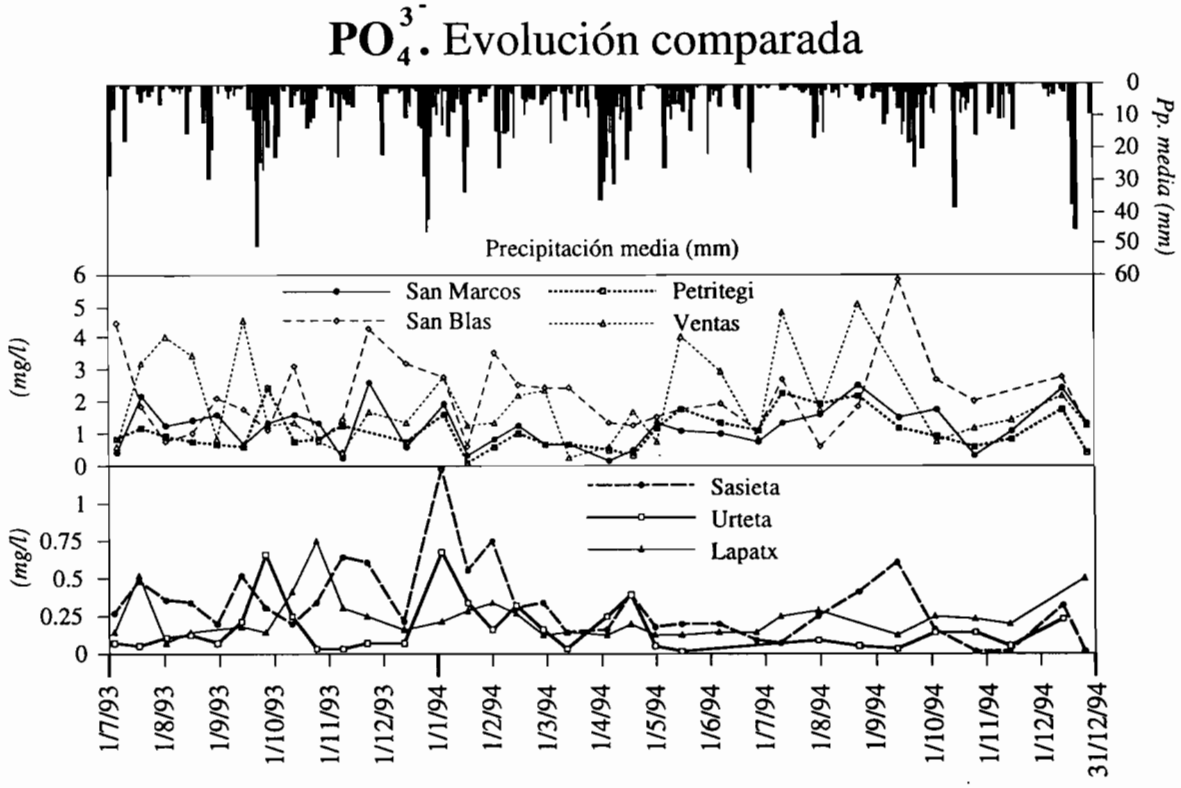


Figura 6.52. Evolución comparada de PO_4^{3-} en los lixiviados de los vertederos estudiados.

En la Figura 6.52 (evoluciones comparadas de PO_4^{3-}) no se distinguen tendencias temporales. Los rangos de variación son importantes dentro de cada vertedero sin que estas variaciones parezcan depender de las precipitaciones medias registradas.

6.6.6. OTROS PARÁMETROS

Por último, los resúmenes estadísticos de los parámetros CN, fenoles y P se presentan en la Tabla 6.45. De estos parámetros no se han realizado gráficas de evolución comparada dado que los dos primeros presentan la mayor parte de las determinaciones por debajo de sus correspondientes límites de detección, y el P dispone de muy pocas determinaciones (menos de 8, salvo en Góngora) y no en todos los vertederos.

Los CN se caracterizan por presentar valores muy bajos, casi siempre por debajo de su límite de detección. En 4 vertederos no se supera en ningún caso ese límite. Los valores máximos registrados son de 0,38 y 0,32 µg/l en Petritegi y Ventas respectivamente.

Los fenoles, excepto en el caso de San Marcos, casi siempre se sitúan por debajo de su límite de detección (en más del 75% de las ocasiones). El valor máximo se registra en San Marcos (7,3 mg/l). En los demás vertederos los valores máximos son inferiores a 0,81 mg/l.

El P también presenta valores bajos. En ningún caso se sobrepasan los 9,5 mg/l. Los mayores valores se registran en Ventas (valor medio de 4,63 mg/l). En los demás vertederos se alcanzan valores sensiblemente inferiores.

	CN (mg/l)	N	n (%)	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Q_1	Q_3	Skew.	Kurt.
1	LAPATX	91	91 (100)	< 0,03	< 0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	SAN MARCOS	91	87 (95,6)	< 0,03	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	PETRITEGI	86	80 (93)	< 0,03	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	VENTAS	82	76 (92,7)	< 0,03	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	URTETA	79	79 (100)	< 0,03	< 0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	SASIETA	59	59 (100)	< 0,03	< 0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	SAN BLAS	30	30 (100)	< 0,03	< 0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LOS 7 JUNTOS	518	502 (96,9)	< 0,03	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	Fenoles (mg/l)	N	n (%)	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	IQR	Q_1	Q_3	Skew.	Kurt.
1	LAPATX	24	23 (95,8)	< 0,1	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	SAN MARCOS	32	1 (3,1)	< 0,1	7,3	0,84	0,39	1,4	172	0,46	0,22	0,68	3,47	11,88
3	PETRITEGI	25	23 (92)	< 0,1	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	VENTAS	25	24 (96)	< 0,1	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	URTETA	26	21 (80,8)	< 0,1	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	SASIETA	25	20 (80)	< 0,1	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	SAN BLAS	24	18 (75)	< 0,1	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LOS 7 JUNTOS	181	130 (71,8)	< 0,1	7,3	0,21	7,3	0,67	318	-	-	0,125	8,21	76,16

	P (mg/l)	N	Media	Mediana	Std.Devs	V (%)	Rango	IQR	Mín.	Q_1	Q_3	Máx.	Skew.	Kurt.
1	LAPATX	4	1,1	1,1	0,69	63	1,2	1,2	0,5	0,5	1,7	1,7	-	-
2	SAN MARCOS	8	1,64	1,12	1,59	97,2	4,9	1,1	0,5	0,74	1,84	5,4	-	-
3	PETRITEGI	1	-	-	-	-	0	-	8,63	-	-	8,63	-	-
4	VENTAS	4	4,63	4,1	4,45	96,2	8,7	8,13	0,8	0,83	8,95	9,5	-	-
5	URTETA	4	1,88	0,85	2,29	122	4,8	3,63	0,5	0,58	4,2	5,3	-	-
6	SASIETA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	SAN BLAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LOS 7 JUNTOS	21	2,48	1,04	2,87	115	9	2,89	0,5	0,75	3,64	9,5	1,45	0,57
8	GONGORA	59	2,1	1,8	1,16	56	5,9	1,2	0,3	1,3	2,5	6,2	1,30	1,90

Tabla 6.45. Resumen estadístico de CN, fenoles y P.

6.6.7. CONCLUSIONES

Como conclusiones del estudio comparado de los diferentes parámetros en los lixiviados de los 8 vertederos considerados cabe mencionar:

- La amplia variabilidad que se da en todos ellos entre vertederos. Es común que los valores centrales de muchos parámetros en algunos vertederos cuadrupliquen a los resultantes para otros vertederos. Incluso en algunos parámetros, como DQO, DBO_5, TOC y S.S., estas diferencias entre valores centrales llegan a ser muy superiores.

- También la importante variabilidad que presentan la mayor parte de los parámetros dentro de los lixiviados de cada vertedero. Los rangos de variación son muy amplios como ha quedado de manifiesto en las diferentes gráficas de evoluciones comparadas así como en las tablas estadísticas a través de los valores de las distintas medidas de dispersión. Esta dispersión es algo menor en el caso de la temperatura, pH, conductividad y cationes mayoritarios.

- Tras comparar entre sí las secuencias de cada parámetro, en las que se clasifican los vertederos en base a los valores centrales que adquieren dichos parámetros (Tabla 6.46), se deduce que no es posible establecer ninguna relación entre ellas con respecto a las diferentes edades de los vertederos o de su estado de actividad o clausura.

Conduct.	Ventas > Petritegi > Sasieta > San Blas > Góngora > S. Marcos > Urteta > Lapatx
Turbidez	S. Marcos > Sasieta > Urteta > Lapatx > Góngora > San Blas > Petritegi > Ventas
S.S.	Góngora > San Blas > S. Marcos > Urteta > Lapatx > Sasieta > Petritegi > Ventas
NH_4^+	Petritegi > Ventas > Sasieta = San Blas > S. Marcos > Góngora > Urteta > Lapatx
NTK	Ventas > Petritegi = Sasieta > San Blas > S. Marcos > Góngora > Urteta > Lapatx
DQO	Góngora >> Ventas = Petritegi = S. Marcos = San Blas > Sasieta > Urteta > Lapatx
DBO_5	Góngora >> S. Marcos >> Petritegi = Urteta = San Blas = Sasieta >Ventas > Lapatx
C.a.e.	San Blas > Ventas > Petritegi > S. Marcos > Sasieta > Urteta > Lapatx
TOC	Góngora >> S. Marcos > San Blas > Ventas >Sasieta > Petritegi > Urteta > Lapatx
Fe	Góngora >> Petritegi > S. Marcos > Sasieta = Urteta = Lapatx > San Blas > Ventas
Mn	Urteta > S. Marcos > Ventas = Sasieta > Lapatx > Góngora > Petritegi > San Blas
Al	Petritegi = San Blas > Góngora = S. Marcos > Urteta > Ventas > Lapatx > Sasieta
Zn	Góngora >>> Urteta > Petritegi > S. Marcos > San Blas > Ventas > Sasieta > Lapatx
Na^+	Ventas > Sasieta > S. Marcos > San Blas > Petritegi > Urteta > Lapatx
K^+	San Blas > Ventas > Sasieta > Petritegi > S. Marcos > Urteta > Lapatx
Ca^{2+}	S. Marcos > San Blas > Urteta > Ventas > Petritegi > Sasieta > Lapatx
Mg^{2+}	Sasieta > Petritegi >San Blas > Ventas > Urteta > S. Marcos = Lapatx
CO_3H^-	Sasieta > San Blas > Ventas > Petritegi > S. Marcos > Urteta > Lapatx
Cl^-	Ventas > Sasieta > S. Marcos > Petritegi > San Blas > Urteta > Lapatx
SO_4^{2-}	San Blas > Petritegi > Ventas > Urteta > S. Marcos > Lapatx > Sasieta
NO_3^-	Petritegi > Urteta > Ventas > Sasieta > Lapatx > S. Marcos > San Blas
PO_4^{3-}	Petritegi > San Blas > Ventas > S. Marcos > Sasieta > Lapatx > Urteta
NO_2^-	Petritegi > Urteta > Ventas > Lapatx > S. Marcos > Sasieta > San Blas

Tabla 6.46. Clasificación de vertederos según sus valores centrales para los principales parámetros analizados.

Como se aprecia en esta tabla, los mayores contenidos en DQO, DBO_5, TOC, Fe y Mn se dan en el vertedero de Góngora, caracterizado por verterse en él grandes cantidades de residuos domiciliarios orgánicos y por presentar bajos caudales de lixiviados.

En los vertederos clausurados de Petritegi y Ventas se dan los mayores contenidos en conductividad, NH_4^+ y NTK, así como los menores en Turbidez y S.S. En los vertederos de Lapatx y Urteta es donde se registran los menores valores de bastantes parámetros (conductividad, NH_4^+, NTK, DQO, C.a.e., TOC, Na^+, K^+, CO_3H^-, Cl^-).

Las secuencias son bastante diferentes entre sí (Tabla 6.46) sin que se pueda hablar de secuencias típicas generales ni de secuencias típicas particulares para metales, cationes, aniones, etc.

- Respecto a la forma que adquieren las curvas de evolución de los parámetros en los distintos vertederos, destaca la ausencia generalizada de tendencias temporales. Únicamente cabe mencionar la observación de algunas ligeras tendencias en las evoluciones de los siguientes parámetros:

Temperatura: cierta ciclicidad verano-invierno en los vertederos de Lapatx, San Marcos, Petritegi, Ventas y Urteta.

Conductividad: ligero incremento general con el tiempo y con incremento más evidente desde mediados de 1993 en San Marcos; incremento progresivo con el tiempo en Urteta;

descenso más o menos continuado a lo largo de los 6 años considerados en Petritegi.

N-NH_4^+: ligero incremento general con el tiempo en San Marcos; homogeneización a partir de los primeros meses de 1993 en Petritegi; incremento progresivo con el tiempo en Urteta.

pH: descenso considerable de valores y homogeneización de los mismos a partir de Diciembre de 1992 en San Marcos; incremento medio a partir de 1992 en Urteta; incremento medio de los valores a partir de Diciembre de 1992 en Sasieta.

DQO: ligero descenso en el tiempo y homogeneización a partir de primeros meses de 1993 en Petritegi; homogeneización de los valores a partir de Septiembre-Octubre de 1992 en Ventas; valores bajos y homogéneos a partir de Abril-Mayo de 1992 en Lapatx; homogeneización leve a partir de Mayo de 1993 en Urteta; valores más homogéneos a partir de Abril de 1992 en San Marcos; valores más homogéneos a partir de Abril-Mayo de 1993 en Sasieta.

- Como norma general, no se aprecian semejanzas entre las evoluciones de cada parámetro en los distintos vertederos. En muchos casos, estas evoluciones son irregulares, con rangos de variación relativamente importantes y con frecuentes picos. Las únicas excepciones se dan en los casos de algunos iones mayoritarios (Na^+, K^+, Mg^{2+} y NH_4^+, CO_3H^- y Cl^-), en cuyas gráficas sí se aprecian ciertas semejanzas entre las evoluciones en los diferentes vertederos de Gipuzkoa. Este comportamiento está condicionado en gran medida por la dilución generalizada que producen los eventos de precipitación importantes que afectan más o menos por igual a todos estos vertederos.

- Salvo en el caso de los iones mayoritarios citados en el punto precedente, resulta imposible apreciar relaciones entre las evoluciones de los parámetros en los distintos vertederos con las precipitaciones medias calculadas y representadas en las mismas gráficas de evolución. Respecto a estas gráficas de precipitaciones medias (calculadas a partir de las registradas en las estaciones situadas en las cercanías de los vertederos de Gipuzkoa) cabe decir que no proporcionan excesiva información dado que al llover tan a menudo en todo el área de Gipuzkoa, no permiten diferenciar con claridad los periodos poco lluviosos de los muy lluviosos.

6.7. COMPARACIÓN CON LA CARACTERIZACIÓN RECOGIDA EN LA BIBLIOGRAFÍA

La comparación de los resultados obtenidos en los apartados 6.5 y 6.6, donde se analiza el quimismo de los lixiviados generados en los vertederos estudiados, con la información expuesta en el anterior capítulo 5 (caracterización de lixiviados de vertederos de R.S.U. según diversos investigadores), permite corroborar algunas de las conclusiones realizadas en dicho capítulo:

- La mayor parte de los parámetros considerados presentan una importante variabilidad tanto dentro de cada vertedero como entre los distintos vertederos. Los rangos de variación son amplios para la mayoría de los parámetros en todos o casi todos los vertederos. Los parámetros DQO, DBO_5 y Fe pueden ponerse como ejemplo de esta variabilidad. En cambio, la conductividad y Cl^- varían bastante pero no tanto como se decía en el capítulo 5.

La variabilidad de los valores medios de los parámetros entre vertederos también es muy importante pero menor que la que se dejaba entrever en la Tabla 5.10. Como se puede ver en la Tabla 6.47, en la que se listan las medias de los parámetros en los 8 vertederos estudiados así como el rango de medias deducido de la recopilación bibliográfica efectuada en el capítulo 5 (Tabla 5.10), los rangos de variación obtenidos en los vertederos ahora investigados no son tan amplios, especialmente en parámetros indicadores de contaminación orgánica (DQO, DBO_5, TOC, $N\text{-}NH_4^+$), conductividad y metales.

A pesar de que no pueda hablarse de un quimismo claramente característico de los lixiviados generados en los vertederos de R.S.U. y de que no sea posible generalizar los resultados obtenidos en uno o varios casos concretos, dada la gran variabilidad que se aprecia entre vertederos, sí podemos resaltar los parámetros que muestran normalmente las mayores concentraciones en el conjunto de los vertederos estudiados:

- Entre los iones mayoritarios destacan CO_3H^-, Cl^-, Na^+ y K^+ (en el capítulo 5 no se consideraba el K^+ y sí el Ca^{2+}). Los SO_4^{2-}, Ca^{2+} y Mg^{2+} se encuentran, salvo excepciones, en menores cantidades que los iones anteriores, y los NO_3^- y NO_2^- presentan concentraciones muy bajas.

- Entre los metales el Fe es el más abundante siempre, pero sin alcanzar las concentraciones que citaban otros autores (Tabla 6.47). Los metales Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg se presentan en muy pequeñas cantidades, mientras que en una posición intermedia se sitúan Mn, Zn y Al, también con concentraciones menores a las citadas en el capítulo 5.

- La importante carga orgánica que contienen los lixiviados se pone de manifiesto por los valores que toman la DQO, DBO_5, $N\text{-}NH_4^+$, NTK y TOC. Estos parámetros también presentan, en los vertederos estudiados, y especialmente en los de Gipuzkoa, concentraciones menores, salvo el NTK que presenta un rango similar, a las citadas por otros autores en el capítulo 5.

- Por último, la conductividad también toma, al igual que los parámetros anteriores, valores elevados pero menores que los encontrados en la bibliografía.

Por otra parte, respecto a las evoluciones de los diferentes parámetros en el tiempo, cabe decir que no pueden corroborarse las conclusiones obtenidas por otros autores (capítulo 5, apartado 5.7). En los lixiviados de los 8 vertederos ahora estudiados no puede hablarse de descensos progresivos de los parámetros DQO y DBO_5, ni tampoco de la conductividad ni de metales pesados. Únicamente en un vertedero, en el de Petritegi, ya clausurado, se aprecian ligeros descensos en el tiempo de la DQO y de conductividad. En otros, en cambio, la conductividad aumenta con el tiempo (San Marcos y Urteta). El pH sólo en 2 vertederos se incrementa con el tiempo (Urteta y Sasieta; en Sasieta las determinaciones no se consideran muy representativas), pero en uno tiende a disminuir (San Marcos).

En los vertederos estudiados en este trabajo no se ha podido establecer relaciones entre la edad de los vertederos y el quimismo de los lixiviados generados en ellos. Así, lixiviados de vertederos de nueva construcción como son los de Lapatx y Sasieta, pueden presentar concentraciones en algunos parámetros del mismo orden, inferiores o incluso superiores que las registradas en lixiviados de vertederos mucho más antiguos. Tampoco se ha logrado

establecer diferencias claras entre el quimismo de los lixiviados de vertederos ya clausurados y el de vertederos que se encuentran en actividad.

En cambio, la influencia de otros 2 factores que condicionan el quimismo de los lixiviados, como son el tipo de residuos vertidos y la tasa de entrada de agua en el vertedero, se ha puesto de manifiesto en el caso del vertedero de Góngora: las claras diferencias de quimismo existentes entre los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa y Góngora se considera relacionada con el hecho de que en Góngora las precipitaciones son claramente menores (los caudales generados en el vertedero son bastante inferiores a los de Gipuzkoa), y con el hecho de que en Góngora se viertan cantidades muy superiores de residuos orgánicos.

Por último, debe decirse que no ha sido posible en ninguno de los vertederos estudiados definir la fase teórica de evolución en la que se encuentran (anaerobia o anaerobia metanogénica). Las magnitudes y las evoluciones temporales de los parámetros que sirven de indicadores a la hora de definir la fase concreta en la que se encuentran los vertederos (iones como Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}; conductividad; DBO_5, DQO, TOC, etc.) no nos permiten decantarnos por ninguna de las 2 fases indicadas.

De todas formas, hay que dejar claro que la diferenciación de fases en la evolución de los lixiviados realizada en el capítulo 5 se llevó a cabo en base a estudios teóricos sobre la degradación que sufre una masa de R.S.U. en el caso supuesto de un vertido único que se deja evolucionar, y que la extrapolación de los resultados obtenidos en estos estudios a casos de vertederos reales es muy discutible.

En todo caso, en vertederos controlados reales como los estudiados en la presente investigación, de edades variables (entre 4 y 24 años para los activos; los 2 clausurados lo son desde 1988 y 1993) en los que se vierten o vertían residuos normalmente todos los días, nos encontraríamos ante una continua superposición de fases, dado que no tendríamos una única edad sino un conjunto de edades asociada cada una de ellas a cada sección o incluso celda del vertedero. Además, la identificación de estas fases en los vertederos estudiados se ve muy dificultada por el hecho de que los lixiviados muestreados son mezcla de los lixiviados formados en todas las secciones activas y/o ya clausuradas del mismo. También hay que tener en cuenta que el periodo controlado (6 años en los mejores casos, desde 1989 a 1994) puede no ser lo suficientemente largo, en estos vertederos en concreto, como para que se pongan de manifiesto tendencias claras en la evolución de sus lixiviados, a diferencia de lo que ocurría teóricamente según lo comentado en el capítulo anterior.

A pesar de estos inconvenientes, debe incidirse en la necesidad de mantener el control del quimismo de los lixiviados generados en los vertederos ahora estudiados a fin de poder definir, en su momento, la existencia de fases "reales" en la evolución de estos lixiviados.

	LAPATX	S. MARCOS	PETRITEGI	VENTAS	URTETA	SASIETA	SAN BLAS	Rango de medias	LOS 7 JUNTOS	GONGORA	*Rango de medias*	
	Media	**Media**	**Media**	**Media**	**Media**	**Media**	**Media**			**Media**	**Tabla 5.10**	
Temp.	16,4	17,7	20,6	18,1	17,1	16,7	20,1	16,4-20,6	18,1	19,7		**Temp.**
pH	7,47	7,19	7,94	8,08	7,31	7,62	7,98	7,2-8,1	7,58	6,9	5,8-7,59	**pH**
Cond.	2.089	5.391	7.417	8.502	3.620	6.575	5.977	2.089-8.502	5.555	5.660	3.400-20.540	**Cond.**
Turbidez	57,1	73,1	21,3	12,7	58,2	54,6	28,2	12,7-73,1	47,5	-		**Turbidez**
S.S.	53,6	135	117	26,7	183	50,9	164	26,7-183	102	339		**S.S.**
NH_4^+	130	338	625	509	168	467	481	130-625	373	296	147-1.805	**NH_4^+**
NTK	135	383	467	519	189	474	438	135-519	362	288	111-500	**NTK**
DQO	440	1.371	1.531	1.664	609	625	1.042	440-1.664	1.085	6.584	327-15.000	**DQO**
DBO_5	94	562	171	102	174	129	117	94-562	233	3.748	25-10.500	**DBO_5**
C.a.e.	74,6	338	385	532	120	309	651	74,6-651	313	-		**C.a.e.**
TOC	54,9	440	186	216	93,7	190	321	54,9-440	215	1.588	181-3.500	**TOC**
Fe	13,9	16,2	21,3	4,98	13,4	13,2	11,4	4,98-21,3	13,6	61,1	1,3-697	**Fe**
Mn	2,39	2,97	1,61	2,71	3,59	2,74	1,09	1,09-3,59	2,56	1,98	0,77-27,5	**Mn**
Al	1,1	1,60	2,15	1,13	1,37	0,55	2,03	0,55-2,15	1,40	1,65	0,43-2,4	**Al**
Zn	0,13	0,28	0,34	0,19	0,52	0,15	0,24	0,13-0,52	0,27	3,49	0,157-21	**Zn**
Pb	0,19	0,16	0,16	0,17	0,15	0,18	0,18	0,15-0,19	0,17	0,108	0,0177-1,03	**Pb**
Ni	0,10	0,12	0,15	0,13	0,10	0,13	0,14	0,1-0,15	0,12	0,185	0,0311-1,2	**Ni**
Cr	0,046	0,079	0,14	0,13	0,054	0,081	0,20	0,046-0,20	0,095	0,081	0,020-0,9	**Cr**
Cu	0,029	0,034	0,17	0,032	0,032	0,024	0,064	0,024-0,17	0,054	0,043	0,0392-25,2	**Cu**
Cd	0,028	0,024	0,029	0,027	0,026	0,031	0,028	0,024-0,031	0,027	-	0,002-0,1	**Cd**
Hg*	0,004	0,051	0,029	0,032	0,018	0,016	< 0,001	0,004-0,051	-	-	0,00026-0,0045	**Hg***
Na^+	142	558	470	1.089	411	843	519	142-1.089	577	-	252-2.988	**Na^+**
K^+	99,2	218	273	306	129	295	377	99,2-377	240	-	100-1.813	**K^+**
Ca^{2+}	88,9	170	117	134	146	90,7	155	88,9-170	131	-	118-1.000	**Ca^{2+}**
Mg^{2+}	41,7	41,6	88,1	50,8	48,4	123	64,9	41,6-123	63,9	-	27-700	**Mg^{2+}**
CO_3H^-	1.295	2.328	2.756	2.781	1.634	3.850	2.914	1295-3.850	2.515	-		**CO_3H^-**
Cl^-	175	822	727	1.803	592	1.046	719	175-1.803	843	-	376-980	**Cl^-**
SO_4^{2-}	35,2	36,5	162	94,3	58,1	21,2	282	21,2-282	89,5	-	9,9-1.204	**SO_4^{2-}**
NO_3^-	6,25	6,12	46,6	32,2	34,6	10,6	5,29	5,29-46,6	20,6	-	0,22-218	**NO_3^-**
PO_4^{3-}	0,24	1,13	4,11	1,94	0,17	0,31	2,08	0,17-4,11	1,43	-	0,09-22	**PO_4^{3-}**
NO_2^-	0,89	0,42	3,49	1,44	2,036	0,38	0,20	0,2-3,49	1,18	-	0,03-0,06	**NO_2^-**
CN*	< 0,03	0,11	0,38	0,32	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,11-0,38	-	-	0,03-0,08	**CN***
Fenoles*	0,11	0,84	0,16	0,19	0,47	0,18	0,81	0,11-0,81	0,21	-	0,061-1,94	**Fenoles***
P	1,1	1,64	-	4,63	1,88	-	-	1,1-4,63	2,48	2,1	0,72-30	**P**

Tabla 4.47. Comparación del quimismo de los lixiviados de los vertederos estudiados con el quimismo deducido en la recopilación bibliográfica.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se resumen las conclusiones generales del estudio realizado. Las conclusiones específicas referentes a los distintos aspectos tratados se presentan al final de los capítulos correspondientes.

Caracterización físico-química de los lixiviados estudiados

- La mayor parte de los parámetros considerados presentan una importante variabilidad tanto temporal en cada vertedero, como espacial de unos vertederos a otros. Los rangos de variación son amplios para la mayoría de los parámetros en todos o casi todos los vertederos.

-La variabilidad de los valores centrales de los parámetros analizados entre vertederos es muy importante pero menor que la que se dejaba entrever en base al estudio bibliográfico.

- No puede hablarse de un quimismo claramente característico de los lixiviados generados en los vertederos de R.S.U. y tampoco es posible generalizar los resultados obtenidos en uno o varios casos concretos dada la gran variabilidad que se aprecia entre vertederos. A pesar de ello, sí podemos resaltar los parámetros que caracterizan el quimismo de los lixiviados en el conjunto de los vertederos estudiados:

- Entre los iones mayoritarios destacan CO_3H^-, Cl^-, Na^+ y K^+. Como secuencias características de los cationes y aniones en los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa (en Góngora no hay análisis de todos estos parámetros) pueden considerarse:

$$Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$$
$$CO_3H^- > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > PO_4^{3-} > NO_2^-$$

- Entre los metales el Fe es el más abundante siempre. Los metales Pb, Ni, Cr, Cu, Cd y Hg se presentan en muy pequeñas cantidades, mientras que en una posición intermedia se sitúan Mn, Zn y Al.

- La importante carga orgánica que contienen los lixiviados se pone de manifiesto por los altos valores que toman DQO, DBO_5, $N\text{-}NH_4^+$, NTK y TOC.

- Normalmente, todos estos parámetros presentan, en los vertederos estudiados, y especialmente en los de Gipuzkoa, concentraciones algo menores a las citadas en la bibliografía.

- Respecto a las evoluciones temporales de los diferentes parámetros cabe decir que no pueden corroborarse las conclusiones obtenidas por otros autores. Así, en los lixiviados de los 8 vertederos ahora estudiados no se aprecian tendencias claras (descensos progresivos de DQO, DBO_5, conductividad o metales pesados; incrementos de $N\text{-}NH_4^+$), si bien ciertos parámetros (temperatura, pH, conductividad, DQO, $N\text{-}NH_4^+$) presentan, en algunos vertederos, ligeras tendencias no generalizables.

- En los vertederos estudiados en este trabajo no se ha podido establecer relaciones entre la edad de los vertederos y el quimismo de los lixiviados generados en ellos. Así, lixiviados de vertederos de nueva construcción como son los de Lapatx y Sasieta, pueden presentar

concentraciones en algunos parámetros del mismo orden, inferiores o incluso superiores que las registradas en lixiviados de vertederos mucho más antiguos. Tampoco se ha logrado establecer diferencias claras entre el quimismo de los lixiviados de vertederos ya clausurados y el de vertederos que se encuentran en actividad.

- En cambio, la influencia de otros 2 factores que condicionan el quimismo de los lixiviados, como son el tipo de residuos vertidos y la tasa de entrada de agua en el vertedero, permiten explicar las claras diferencias de quimismo existentes entre los lixiviados de los vertederos de Gipuzkoa y Góngora (en este último las precipitaciones son claramente menores y se vierten cantidades muy superiores de residuos orgánicos).

- No ha sido posible en ninguno de los vertederos estudiados, de edades variables (entre 4 y 24 años para los activos; los 2 clausurados lo son desde 1988 y 1993), definir la fase teórica de evolución en la que se encuentran (anaerobia acetogénica o anaerobia metanogénica). Las magnitudes y las evoluciones temporales de los parámetros que sirven de indicadores a la hora de definir la fase concreta en la que se encuentran los vertederos (iones como Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}; conductividad; DBO_5, DQO, TOC, etc.) no nos permiten decantarnos por ninguna de las 2 fases indicadas.

- El periodo controlado (6 años en los mejores casos, desde 1989 a 1994) puede no ser lo suficientemente largo, en estos vertederos en concreto, como para que se pongan de manifiesto tendencias claras en la evolución de sus lixiviados, a diferencia de lo que ocurriría teóricamente. La identificación de estas fases en los vertederos estudiados se ve muy dificultada por el hecho de que los lixiviados muestreados son mezcla de los formados en todas las secciones activas y/o ya clausuradas.

Generación de caudales en los vertederos estudiados

Puede afirmarse que la información disponible en la actualidad sobre generación real de lixiviados en vertederos de R.S.U. es muy limitada. En muy pocas ocasiones se han realizado balances hídricos y en muchos casos ni siquiera se plantean este tipo de estudios.

- En los vertederos en los que se han controlado los caudales se aprecia la clara dependencia de la evolución de los mismos con las precipitaciones registradas, produciéndose aumentos significativos de caudal a lo largo de los días en que tienen lugar las precipitaciones. Se deducen tiempos de respuesta muy cortos (1-2 horas en el caso de Lapatx) para eventos de precipitación no excesivamente importantes.

- Los aumentos de caudal se producen muy rápidamente en los vertederos (curvas casi verticales), siendo las variaciones de caudal muy importantes. En cambio, las curvas de decrecida presentan diferencias. Mientras que en Góngora son también prácticamente verticales, en Lapatx y San Marcos estas curvas son menos pronunciadas (con la información disponible, cabe asemejar el funcionamiento hídrico del vertedero de San Marcos al de Lapatx). Esta forma de los picos pone en evidencia la importancia, mayor en Góngora, de la infiltración rápida de gran parte de las lluvias caídas sobre el vertedero.

- El caudal medio en Lapatx es de 3,16 l/seg (54 m^3/ha día, considerando 5 ha como área generadora de lixiviados). En Góngora es de 0,81 l/seg (30 m^3/ha día, considerando 2,3

ha como área generadora de lixiviados). En San Marcos los menores valores de caudal registrados rondan los 5 l/seg (33 m^3/ha día, considerando 13 ha como área generadora de lixiviados), muy similares, los valores específicos, a los registrados en condiciones equivalentes en el vertedero de Lapatx.

- Respecto al vertedero de Sasieta, cabe decir que, tanto los anormalmente bajos caudales medios deducidos (del orden de 0,019 l/seg) como la ausencia de relaciones entre caudales medios-precipitaciones, nos hacen dudar de la representatividad de la información de partida.

- En los vertederos estudiados se produce una rápida infiltración de las aguas de precipitación a través de los materiales depositados en los vertederos así como una rápida evacuación de las mismas, especialmente en el caso de Góngora. La posible existencia de vías preferenciales dentro de los vertederos también ayuda a explicar este tipo de comportamientos.

- Queda patente, a nivel de valores de caudales medios mensuales y de aportaciones, la gran variabilidad existente. Las aportaciones registradas en cada mes a lo largo de los años sucesivos, en los vertederos de Lapatx y Góngora, se relacionan directamente con las precipitaciones registradas.

- La aportación de lixiviados registrada a lo largo de un mes no depende únicamente de la precipitación ocurrida en ese mismo mes, sino que también está condicionada por las precipitaciones registradas en periodos anteriores, parte de las cuales quedan retenidas en el interior del vertedero, confiriendo a éste un cierto carácter de acuífero. Se deduce que a la hora de realizar balances hídricos en estos vertederos es más conveniente considerar periodos de tiempo superiores al mes.

- Cualquier incremento mínimamente importante de caudal va acompañado de descensos apreciables tanto de temperatura como de conductividad. Esto es así, tanto si las variaciones de caudal se deben a precipitaciones aisladas o no, y es independiente de que ocurra en periodos de aguas altas o bajas.

- Estos descensos de temperatura y conductividad eléctrica ponen en evidencia los procesos de mezcla que tienen lugar en el interior del vertedero entre importantes cantidades de aguas de lluvia, más frías y de baja conductividad y que se infiltran rápidamente, con los lixiviados ya existentes en el interior del vertedero. A esta escala diaria, los descensos de temperatura pueden ser, en Lapatx, superiores a 2 °C y en San Marcos a 4-6 °C, mientras que los de conductividad pueden ser superiores a 1 y 4 mS/cm respectivamente.

- En Lapatx, la temperatura media diaria de los lixiviados en el periodo controlado es de 16,76 °C y la conductividad media de 2,11 mS/cm. En San Marcos la temperatura media es de 17,05 °C y los valores de conductividad durante periodos sin lluvias son del orden de 5-5,5 mS/cm (superiores a los registrados en circunstancias similares en los lixiviados de Lapatx, en los que se rondan los 2 mS/cm).

- En Lapatx se aprecia, a escala anual, además de una clara ciclicidad de la temperatura de los lixiviados, una cierta ciclicidad en la evolución de la conductividad. También se aprecia una tendencia hacia valores crecientes con el tiempo de esa temperatura (los valores medios de

un mismo mes en años sucesivos sufren aumentos más o menos considerables). Por contra, los valores medios mensuales de conductividad de un mismo mes en años sucesivos sufren ligeros descensos (tendencia decreciente).

- No se tiene mucha seguridad sobre la validez de los datos de pH, oxígeno disuelto y potencial redox dado los abundantes problemas de mantenimiento. En principio, los 3 parámetros parecen comportarse inversamente a como lo hacen la temperatura y la conductividad, es decir, se relacionan directamente con el caudal. Los registros de pH correspondientes a los lixiviados de Lapatx se han considerado anómalos en su totalidad al resultar el sensor instalado poco apropiado para su control en este tipo de efluentes.

- La metodología empleada normalmente para la investigación hidrodinámica de sistemas hidrológicos (cuencas vertientes, acuíferos) se ha mostrado totalmente aplicable para el caso de los vertederos de R.S.U. La información suministrada por los distintos métodos de análisis empleados (análisis correlatorio y espectral, análisis de la curva de caudales clasificados, curvas de recesión, secuencias crecida-decrecida, descomposición de hidrogramas, etc.) cabe considerarla como muy importante, permitiendo profundizar en la compleja hidrodinámica del sistema.

- Los vertederos, al menos los de Lapatx y Góngora (de los que disponemos de más información), pueden considerarse como sistemas poco inerciales y con predominio neto de los caudales bajos sobre los altos (en Góngora el 83,01% de los valores son inferiores a 1 l/seg mientras que en Lapatx lo son el 11,94%; en este segundo vertedero el 44,5% de los valores son inferiores a 2 l/seg y el 68,9% a 3 l/seg).

- En los 5 periodos en los que se ha aplicado la metodología de descomposición química de hidrogramas, en el vertedero de Lapatx, se ha obtenido contribuciones muy importantes del caudal de base (aportación de lixiviados). El porcentaje de estas contribuciones está comprendido entre el 62,1 y el 85,5%. Estos valores son más altos que los referenciados por otros autores para pequeñas cuencas hidrológicas.

Balance hídrico

- La realización de balances a partir de datos mensuales no es la más apropiada, al menos en los casos estudiados. Debe procurarse realizar los balances a partir de datos correspondientes a intervalos menores (horarios o cada media hora si es posible) y trabajar luego con valores acumulados a intervalos mayores que un mes. Como valores de precipitación deben utilizarse los registrados en el mismo vertedero siempre que sea posible. Por otra parte, cabe resaltar el hecho de que los valores de ETP y ETR mensuales obtenidos mediante el método de Penman-Brutsaert (acumulando los valores correspondientes a cada intervalo de media hora) son del orden de 10-15% menores que los obtenidos por el método de Thornthwaite.

- El balance más equilibrado se consigue, en el vertedero de Lapatx, para el periodo estudiado, considerando unas 8 ha como área generadora de lixiviados, 50 mm como máximo de retención de humedad del suelo, calculando la ETP mediante el método de Penman-Brutsaert y realizando el balance a intervalos de media hora. Se llega a la conclusión, por tanto, de que, suponiendo que estas últimas consideraciones son acertadas, en este vertedero

se están produciendo unas cantidades de lixiviados que corresponderían a un vertedero de las mismas condiciones pero con un área activa del orden de un 70% superior al área activa actual, que es de unas 4,8 ha.

- Las entradas al vertedero de aguas de escorrentía superficial externas (debidas a errores puntuales en el diseño del canal perimetral) más las entradas producidas en el área del vertedero aún inactiva (la extensión total del vertedero es de 9,2 ha), a causa de un deficiente mantenimiento, suponen una cantidad equivalente a la de los lixiviados que se producirían en unas 3,2 ha de vertedero en activo.

- El modelo HELP.3 se muestra como una herramienta válida a la hora de obtener información sobre los componentes del balance hídrico en el vertedero de Lapatx.

- Los resultados obtenidos de aplicar este modelo vuelven a poner de manifiesto el exceso de lixiviados que se está produciendo en la actualidad en este vertedero: es preciso recurrir a un área generadora de lixiviados superior a 8 ha (e incluso a 11 ha) para ajustar las cantidades teóricas con las registradas.

- El mejor ajuste entre los caudales diarios simulados y registrados se consigue considerando que tanto los R.S.U. como las escorias tienen una conductividad hidráulica de $5{,}8 \cdot 10^{-2}$ cm/seg (valor superior a los obtenidos en el estudio bibliográfico). Este valor debe ser considerado como un valor "equivalente", esto es, como un valor medio del conjunto del vertedero.

Recomendaciones

Recomendaciones que, aunque definidas para los vertederos estudiados, pueden considerarse válidas para los vertederos de R.S.U. en general:

- Se recomienda ampliar el control en continuo de los caudales de lixiviados generados a todos los vertederos que en la actualidad se encuentran en activo, e incluso a uno de los dos vertederos clausurados (Ventas o Petritegi) al objeto de obtener información de referencia para estimar la evolución futura en los actuales en activo una vez clausurados.

- Prestar especial atención a algunos factores que condicionan en gran medida la validez de la información sobre caudales obtenida: elección correcta de aforadores, de sensores y del sistema de alimentación de las estaciones; mantenimiento continuado de los equipos de control; comprobación y análisis de los datos registrados por las estaciones, etc.

- Realizar un correcto mantenimiento de los sistemas de drenaje tanto de aguas superficiales como de lixiviados.

- Realizar balances hídricos periódicamente, a ser posible utilizando datos de precipitación registrados en los mismos vertederos. A tal fin, es conveniente la instalación en los mismos de estaciones meteorológicas capaces de medir, además de la precipitación, otros parámetros como son temperatura, humedad del aire, radiación solar y dirección y velocidad de viento.

- Utilizar el modelo HELP.3 al objeto de cuantificar los componentes del balance hídrico

y comparar la información obtenida con este modelo con los resultados deducidos en los balances hídricos realizados mediante otros procedimientos.

- Instalar en algún vertedero (en Lapatx, por ejemplo, por disponer ya de una instrumentación importante) un evapotranspirómetro o una parcela experimental al objeto de disponer de datos más fiables de evapotranspiración en vertederos.

- También sería muy interesante instalar, en varios vertederos, por ejemplo en uno de los activos (Lapatx) y en otro de los clausurados, piezómetros para medir los niveles de lixiviados de cara a ajustar modelos de generación de lixiviados.

- Seguir analizando con periodicidad quincenal o similar el quimismo de los lixiviados en los 8 vertederos estudiados a fin de poder definir, en su momento, la existencia de fases "reales" en la evolución de estos lixiviados. Así mismo, controlar en continuo las evoluciones en los lixiviados de parámetros físico-químicos (por ejemplo, temperatura, conductividad, pH y potencial redox), al menos en los vertederos que en el futuro van a cobrar mayor importancia (Lapatx, San Marcos y Sasieta).

- En el vertedero de Lapatx se deberían realizar obras de mejora en los sectores del canal perimetral que en la actualidad funcionan deficientemente. En el de San Marcos se considera prioritario completar el canal perimetral para evitar la entrada de las aguas de escorrentía superficial que en la actualidad penetran en él.

- En los vertederos de Urteta y Sasieta se recomienda estudiar la posibilidad de drenar todas las aguas superficiales mediante canales perimetrales y reconvertir las galerías de fondo (susceptibles de recibir aportes de lixiviados) en componentes adicionales de los sistemas de drenaje de lixiviados.

- El vertedero de Góngora reúne muchas condiciones para la realización de investigaciones de detalle: generación de lixiviados en cada celda de vertido, diferencias en el quimismo de los lixiviados generados en cada celda (de edades diferentes todas ellas), establecimiento de fases reales en la evolución del quimismo de los lixiviados, etc. Por ello, se recomienda estudiar la posibilidad de su realización.

Sobre el concepto de "vertedero controlado"

Aunque en sentido amplio los 8 vertederos estudiados pueden catalogarse como "vertederos controlados", y de hecho, incluso en el título de este estudio aparece el calificativo de "controlados", en realidad debe concluirse que este "control" no es total, hoy en día, en ninguno de los vertederos estudiados, es decir, no abarca a todos los aspectos que debería en teoría abarcar.

No debería hablarse de "vertederos controlados" en aquellos casos en los que no se lleve a cabo una correcta gestión de los lixiviados generados, incluyendo dentro de esta gestión aspectos tales como:

- El conocimiento exhaustivo de los caudales de lixiviados generados y de sus evoluciones en el tiempo (actualmente sólo en los vertederos de Lapatx y Góngora se tiene un conocimiento aceptable sobre esta materia).

- Realización de balances hídricos de forma periódica. Estos balances hídricos deben estar equilibrados, es decir, las cantidades de lixiviados medidas deben de ser similares a las calculadas teóricamente. Sólo en estos casos podremos considerar que los vertederos en cuestión son "controlados" desde el punto de vista hidrológico. Este no es el caso de los vertederos de Lapatx y Góngora, donde se ha puesto de manifiesto el desequilibrio entre las salidas (lixiviados medidos) y las entradas calculadas (las primeras son claramente superiores).

- El conocimiento exhaustivo de la caracterización de los lixiviados (control físico-químicos), complementario del control hidrológico, que va a condicionar el diseño y funcionamiento de las plantas depuradoras.

- El tratamiento final que se da a los lixiviados generados tampoco es el más adecuado en algunos de los vertederos estudiados (se vierten a cauces públicos), si bien cabe decir que se está trabajando intensamente en la actualidad para que en todos los casos sean depurados convenientemente.

También sobre el tema de "control de residuos vertidos" cabe hacer algún comentario. En la actualidad, a pesar de que se lleva un control aceptable de las cantidades de residuos que entran en el vertedero (se pesan las cargas de todos los camiones y demás vehículos que llegan al vertedero), este control no es lo suficientemente riguroso como para impedir la entrada de cantidades, pequeñas o grandes, de residuos tóxicos y peligrosos que puedan venir mezcladas con R.S.U. o con residuos asimilables. En un "vertedero controlado" los controles de aceptación de residuos deberían ser bastante más estrictos para impedir que se puedan producir este tipo de prácticas.

En definitiva, debe decirse que, si bien la gestión que en la actualidad se realiza en los vertederos estudiados cabe considerarla como de "aceptable", esta gestión es claramente mejorable especialmente en lo que al "control hidrológico de lixiviados" se refiere.

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFÍA

ADI Ltd. (1991)."Assesment of landfill leachate options". Report for the Westmorland-Albert County Solid Waste Commission, July, 62 pp.

AFRC (1988)."A basic study of landfill microbiology and biochemistry". Contract report produced for ETSU by the Agriculture and Food Research Council, Institute of Food Research, ETSU report nº ETSU-B-1159, 88 pp.

ANDERSON, E. (1973)."National Weather Service river forecast system-snow accumulation and ablation model". Hydrologic Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.

ANSOLA, J.M. (1989)."Realización de un balance de aguas en un vertedero sellado". Ingeniería Química, nº 7, pp. 173-181.

ANSOLEAGA, I. (1992)."Balance de agua en un vertedero controlado". Master en Ingeniería Medioambiental. ETSII-Bilbao. 13 pp.

ANTIGÜEDAD, I.; ERASO, A.; FERNÁNDEZ, O.; HIDALGO, J. & TAMÉS, P. (1988)."Análisis del régimen de descarga del manantial kárstico de Salubita (Tolosa-Guipuzkoa). II Congreso Geológico de España, Granada, Vol. 2, pp. 347-350.

ANTIGÜEDAD, I.; LUENGO, C.; ZUBIAGA, R.; GRANDA, J.M. & BONILLA, A. (1991)."Lixiviación en vertederos de residuos sólidos urbanos en la Comunidad Autónoma Vasca". Revista Tecnoambiente, nº 10, pp. 39-45.

ANTIGÜEDAD, I. (1995)."Investigación hidrodinámica de acuíferos kársticos: revisión de metodologías basadas en las respuestas naturales". El Karst y los acuíferos kársticos. Servicio editorial de la Universidad de Granada. pp. 99-118.

ARNETH, J.D.; MILDE, G.; KERNDORFF, H. & SCHLEYER, R. (1989)."Waste deposit influences on groundwater quality as a tool for waste type and site selection for final storage quality". In: The Landfill: Reactor and Final Storage. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer-Verlag. 438 pp.

ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; NICKS, A.D. & SAMMONS, N.B. (1989)."SWRRB, a simulator for water resources in rural basins". Agricultural Research Service, USDA, Texas A&M University Press, College Station, TX.

AULIN, C. & NERETNIEKS, I. (1995)."Material balance for an industrial landfill". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium, Vol. 3, pp. 173-180.

BAEDECKER, M.J. & BACK, W. (1979)."Hidrogeological processes and chemical reactions at a landfill". Groundwater, Vol. 17, nº 5, pp. 429-437.

BALDI, M.; BERTANZA, G.; CILLIVIGNARELLI, C. & CONTI, F. (1993)."Mathematic modelling of leachate quantity and quality for an industrial sludge waste landfill". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 833-848.

BALDI, M.; CILLIVIGNARELLI, C. & CONTI, F. (1991)."Leachate production from an industrial waste landfill: approach method and experimental results". Sardinia'91 (Italy): 3rd International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 833-846.

BARBANCHO, A.G. (1981)."Estadística elemental moderna". Editorial Ariel. 461 pp.

BARBER, C.; MARIS, P.J. & JOHNSON, R.G. (1985)."Behaviour of waste in landfills: study of the leaching of selected industrial wastes in large-scale test cells at Edmonton". WLR Technical Note 69, Department of the Environment, UK.

BARLAZ, M.A. & HAM, R.K. (1993)."Leachate and gas generation". In: Geotechnical practice for waste disposal. Chapman & Hall. pp. 113-136.

BASS, J. (1986)."Avoiding failure of leachate collection and cap drainage systems". Notes Data Corporation, New Jersey, USA. 129 pp.

BEKER, D. (1988)."Emissions from landfills". ISWA Congress, Enviro88, Amsterdam, September, 12 pp.

BELEVI, H. & BACCINI, P. (1989)."Water and element fluxes from sanitary landfills". In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Academic Press. pp. 391-397.

BENAVENTE, J; Da COSTA, C.; CASTILLO, A. & OLIVEIRA, M. (1983)."Algunos ejemplos de aplicación del análisis factorial al tratamiento de datos hidroquímicos". Hidrogeología y Recursos Hidráulicos VIII, pp. 297-309.

BENDZ, D.; BENGTSSON, L. (1996)."Evaporation from an active, uncovered landfill". Journal of Hydrology, nº 182, pp. 143-155.

BENFRATELLO, G. (1961)."Contributo allo studio del bilancio idrologico del terreno agrario". L´Acqua 2, pp. 34-53.

BENGTSSON, L.; BENDZ, D.; HOGLAND, W.; ROSQVIST, H. & AKESSON, M. (1994)."Water balance for landfills of different age". Journal of Hydrology, nº 158, pp. 203-217.

BESSE, M.J. (1988)."Comportamiento y tratamiento de los lixiviados en los vertederos controlados". Primeras jornadas técnicas sobre gestión de residuos. Oviedo. 17 pp.

BISQUERRA, R. (1989)."Introducción conceptual al análisis multivariante. Un enfoque informático con los paquetes SPSS-X, BMDP, LISREL y SPAD". Editorial PPU. Barcelona. Vol. 1, 398 pp.

BLAKEY, N.C. (1989)."Predicting Landfill Leachate production and use of a computer model". Sardinia'89 (Italy): 2nd International Landfill Symposium, XXV: pp. 1-15.

BLAKEY, N.C. (1990)."Leachate generation". Proc. Conf. "Landfill Problems and Solutions". Brunel University, Uxbridge, 15-18 May.

BLAKEY, N.C. (1991)."Enhanced landfill stabilisation using sewage sludge". Sardinia'91 (Italy): 3th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1368-1379.

BLANNON, J.C. & PETERSON, M.L. (1974)."Survival of fecal coliforms and fecal streptococci in a sanitary landfill". News of Environmental Researche in Cincinnati, April 12.

BLIGHT, G.E.; BALL, J.M. & BLIGHT, J.J. (1991)."Moisture distribution in sanitary landfill". Sardinia'91 (Italy): 3rd International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 814-821.

BORDEN, R.C. & YANOSCHAK, T.M. (1990)."Ground and Surface Water Quality Impacts of North Carolina Sanitary Landfills". Water Resources Bulletin, Vol. 26, nº 2 (April), pp. 269-277.

BOX, G.E.P. & JENKINS, G.M. (1976)."Time Series Analysis: Forecasting and Control". Holden Day, San Francisco, 575 pp.

BRILLINGER, D.R. (1975)."Time series data analysis and theory". Intern. Series in decision Poc. H.R.W., New York, 500 pp.

BROOKS, R.H. & COREY, A.T (1964)."Hydraulic properties of porous media". Hydrology Paper nº 3, Colorado State University, USA.

BROWN, K.W. & DONNELLY, K.C. (1988)."An estimation of the risk associated with the organic constituents of hazardous and municipal waste landfill leachates". Hazardous Waste & Hazardous Materials, Vol. 5, nº 1, pp. 1-30.

BRUTSAERT, W. (1982)."Evaporation into the Atmosphere: Theory, History and Applications". D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, 299 pp.

CAISSIE, D.; POLLOCK, T.L. & CUNJAK, R.A. (1996)."Variation in stream water chemistry and hydrograph separation in a small drainage basin". Journal of Hydrology, nº 178, pp. 137-157.

CAMPBELL, D.J.V. (1983)."Understanding water balance in landfill sites". Wastes Management 73 (11), pp. 594-605.

CAMPBELL, G.S. (1974)."A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data". Soil Science, 117(6), pp. 311-314.

CAMPÓN, E.; CASTRILLÓN, L. & FERNÁNDEZ, M.J. (1984)."Estudio analítico de la contaminación hídrica producida en los distintos vertederos asturianos". Boletín de Ciencias Naturales, I.D.E.A., nº 33, pp. 95-120.

CANZIANI, R. & COSSU, R. (1989)."Landfill hydrology and leachate production". In: Sanitary Landfilling. Edited by Christensen, Cossu and Stegmann. Academic Press. pp. 185-212.

CAPUANO, F. & MELLI, P. (1991)."Maturation and degradation processes of RSU placed in a landfill. Chemical and physical characteristics of emissions from an exhausted and an active site". Sardinia'91 (Italy): 3rd International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1643-1651.

CARRERAS, J. (1991)."Hidrogeología en medios poco permeables". En: Hidrogeología, estado actual y prospectiva. Universitat Politécnica de Catalunya. pp. 47-67.

CASTRILLÓN, L. & BERRUETA, J. (1991)."Tratamiento anaerobio de lixiviados de vertederos de Residuos Sólidos Urbanos". Tecnología del Agua, nº 77, Enero, pp. 70-74.

CHEREMISINOFF, P.N. & GIGLIELLO, K.A. (1983)."Leachate from hazardous wastes sites". Report issued by Technomic Publishing Co.; Lancaster, Pennsylvania, 87 pp.

CHEYNEY, A.C. (1983)."The living landfill: a leachate treatment system". Waste management meeting, 14th April, Northampton.

CHILTON, J. & CHILTON, K. (1992)."A critique of risk modeling and risk assesment of municipal landfills based on U.S. Environmental Protection Agency Techniques". Waste Management and Research, Vol. 10, pp. 505- 516.

CHOW, V.T. (1964)."Handbook of Applied Hydrology". McGraw-Hill.

CHRISTENSEN, T.H. & KJELDSEN, P. (1989)."Basic biochemical process in landfills". In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Academic Press. pp. 29-49.

CINSA & GEOTHEKNIKA (1985)."Informe Geológico del emplazamiento del vertedero de Azpeitia". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

CLARK, T.P. & PISKIN, R. (1977)."Chemical quality and indicator parameters for monitoring landfill leachate in Illinois". Environmental Geology, Vol. 1, pp. 329-339.

CLEANAWAY Ltd (1990)."Pitsea Landfill Site: Environmental Monitoring Review, 1989". Consultant's Report.

CLÉMENT, B.; DELOLME, C.; WINIARSKI, T. & BOUVET, Y. (1993)."The risk of contamination by leachates of fresh water ecosystems". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1155-1166.

COLLINS, M.J. (1993)."Impact of the temperature inside the landfill on the behaviour of barrier systems". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 417-432.

CONTRERAS, A.; CASTRILLÓN, L.; BLANCO, J.M. & ARCOS, C. (1988)."Caracterización analítica y tratamiento físicoquímico de los lixiviados de dos vertederos de R.S.U. de diferente antigüedad" . Tecnología del Agua, nº 42, pp. 24-27.

COOPER, R.C. (1975)."Virus survival in solid waste leachate". Water Research, Vol. 9, pp. 775-782.

COSSU, R. & SERRA, R. (1989)."Effects of codisposal on degradation processes". In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Academic Press. pp. 121-151.

COUMOULOS, D.G.; KORYALOS, T.P.; METAXAS, I.L. & GIOKA, D.A. (1995)."Geotechnical investigation at the main landfill of Athens". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium, Vol. II, pp. 885-895.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. (1983)."Hidrología Subterránea". Editorial Omega. Barcelona. 2350 pp.

DAVIS, J. (1983)."Statistics and data analysis in geology". John Wiley & Son. 550 pp.

DEL GRECO, O. & OGGERI, C. (1993)."Geotechnical parameters of sanitary wastes". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1421-1431.

DFG & SGOP (1985)."Estudio de evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del Territorio Histórico de Guipúzcoa". DFG (Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia)-SGOP (Servicio Geológico de Obras Públicas). Inédito.

DoE-Department of Environment (1978)."Hazardous wastes in landfill sites: final report of the policy review committee". HMSO.

DoE-Department OF Environment (1986)."Landflling Wastes: A Technical Memorandum for the disposal of wastes on landfill sites". Waste Management Paper nº 26, UK Department of the Environment. HMSO, London.

DONNELLY, J.A. & SCARPINO, P.V. (1984)."Isolation and characterization and identification of microorganisms from laboratory and full-scale landfills". Repor EPA nº 600/2-84-119, 500 pp.

DOW, A.A. (1985)."The sensibility of water balance calculations at Pitsea landfill site, Essex". M.Sc. Thesis, University College, London.

DURANA, N.; EZCURRA, A.; CASADO, H.; LACAUX, J.P. & GARCIA, C. (1990)."Resultados sobre deposición húmeda en el País Vasco español". Revista Geofísica, nº 46, pp. 97-108.

ECOLÓGICA, Enginyeria de Residus S.A. & KEMEN, Estudios y Proyectos S.L. (1988)."Estudio de posibles emplazamientos para ubicación de vertedero de R.S.U. Comarca de Tolosaldea". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

ECOLÓGICA, Enginyeria de Residus S.A. & KEMEN, Estudios y Proyectos S.L. (1988)."Proyecto de Ampliación del vertedero de San Marcos. Segunda fase. (Corrección de Impactos Ambientales)". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

ECOLÓGICA, Enginyeria de Residus S.A. & KEMEN, Estudios y Proyectos S.L. (1988)."Tratamiento de la basuras de Donostia-San Sebastián en el vertedero Mancomunado de San Marcos". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

ECOLÓGICA, Enginyeria de Residus S.A. & KEMEN, Estudios y Proyectos S.L. (1989)."Informe de viabilidad y anteproyecto para la Ampliación del vertedero municipal de Irun". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

ECOLÓGICA, Enginyeria de Residus S.A. & KEMEN, Estudios y Proyectos S.L. (1989)."Proyecto de Ampliación del vertedero municipal de R.S.U. de Ventas".

Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

ECOLÓGICA, Enginyeria de Residus S.A. & KEMEN, Estudios y Proyectos S.L. (1991)."Proyecto de la Tercera fase de Ampliación del vertedero de San Marcos". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

EHRIG, H.G. (1983)."Quality and quantity of sanitary landfill leachate". Waste Management & Research, nº 1, pp. 53-68.

EHRIG, H.G. (1988)."The Landfill". Lecture Notes in Earth Sciences. Springer-Verlag. pp. 83-115.

EHRIG, H.J. (1988)."Leachate quantity and quality-operation effects and duration". ISWA Congress, Enviro88, Amsterdam, September, 15 pp.

EHRIG, H.J. & SCHEELHAASE, T. (1993)."Pollution potencial and long term behaviour of sanitary landfills". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1203-1225.

EIN, S.L.-Colectivo Zahorí (1993-94)."Estudio de la cantidad, origen, composición y características físico-químicas de los R.S.U. generados en la Mancomunidad de San Marcos". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

EMCON Associates (1983)."Field assessment of the site closure, Boone County, Kentucky". Report NTIS nº PB 83-251-629.

ETTALA, M. (1987)."Infiltration and hydraulic conductivity at a sanitary landfill". Aqua Fennica, nº 17 (2), pp. 231-237.

FARQUHAR, G.J. & ROVERS, F.A. (1973)."Gas production during refuse decomposition". Water, Air and Soil Pollution, nº 2, pp. 483-496.

FARQUHAR, G.J. (1986)."Leachate: production and characterization". Dept. of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada. Intern report.

FAYER, M.J. & JONES, T.L. (1990)."UNSAT-H versión 2.0: Unsaturated Soil Water and Heat Flow Model. PNL-6479, Pacific Northwest Laboratory". (Richland, Washington, USA).

FENN, D.G.; HANLEY, K.J. & DeGEARE, T.V. (1975)."Use of the water balance method for predicting leachate generation from solid waste disposal sites". EPA/530/SW-168. Cincinnati, Ohio, USA. 40 pp.

FLYHAMMAR, P. (1995)."Leachate quality and environmental effects at active swedish municipal landfill". Sardinia'95 (Italy), 5th International Landfill Symposium, Vol. 3, pp. 550-557.

FONT, X. & NAVARRO, A. (1991)."Aplicación de métodos estadísticos uni y multivariantes a estudios de contaminación. El caso de la Cubeta de La Llagosta". Boletín Geológico y Minero, Vol. 102-5, pp. 71-91.

FULKERSON, W. (1975)."Cadmiun: the dissipated element revisited". In: Proceedings: Second National Conference on Complete Wateruse. USA. pp. 191-200.

FULLER, W.H.; ALESII, B.A. & CARTER, G.E. (1979)."Behaviour of municipal solid waste leachate. composition variations". Journal of Environmental Science and Health, part A, A14 (6), pp. 461-485.

FUNGAROLI, A.A. & STEINER, R.L. (1979)."Investigation of sanitary landfill behaviour". Vol. I. Report EPA-600/2-79-053a. U.S. EPA.

FURUTA, H.; NAKAJIMA, S. & HARADA, H. (1995)."Calculation of leachate quantity and capacity of leachate storage basins". Sardinia'95 (Italy): Fifth International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 286-296.

GALÁN, J. (1978)."Informe geológico de los terrenos elegidos para la ubicación del Centro de Tratamiento de R.S.U. de Góngora". Mancomunidad de la Comarca de Pamplona. Inédito.

GARCÍA-LATORRE, F.; CRUZ-SAN JULIÁN, J. & IBARRA-LOZANO, V. (1987)."Precisiones sobre el funcionamiento del sistema kárstico del barranco de Peñalba a partir de los caudales clasificados del manantial de Iturriotz (Vizcaya) en los ciclos 1983-84 y 1884-85". Boletín Geológico y Minero, Vol. 48-1, pp. 58-68.

GARMENDIA, J.M. (1988)."Ampliación de obras de habilitación del vertedero controlado de R.S.U. de Lapatx en la Comarca del Urola-Medio". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

GASPARINI, A. & SAETTI, F. (1993)."Problems concerning a long term hand-over of a completed landfill". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. II, pp. 1275-1284.

GEE, J.R. (1981)."The prediction of leachate generation in sanitary landfills". Proc. 4th Annual Madison Waste Conference, University of Wisconsin, Madison, USA.

GEE, J.R. (1983)."The prediction of leachate generation in landfills: a new method". 6th Annual Madison Conference. University of Wisconsin, Madison, USA. pp. 201-224.

GEE, J.R. (1986)."Predicting percolation at solid waste disposal sites: a direct method". Proc. 9th Annual Madison Waste Conference, University of Wisconsin, Madison, USA. pp. 623-64.

GEONICA, S.A. (1993)."Manual de la estación HYDRODATA-1256". 5 capítulos + anexos.

GÓMEZ-MARTÍN, M.A.; ANTIGÜEDAD, I. & PÉREZ, C. (1995). "Landfill Leachate: Variation of Quality with Quantity". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 345-355.

GÓMEZ-MARTÍN, M.A.; ANTIGÜEDAD, I. & PÉREZ, C. (1995). "Multivariate analysis of leachate analytical data from different landfills in the same area". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium. Cagliari, Italia. Vol. 1, pp. 365-376.

GÓMEZ-MARTÍN, M.A.; ANTIGÜEDAD, I.; AGUADO, N. & PÉREZ, C. (1995). "Leachate generation and characterization at the Azpeitia Municipal Solid Waste Landfill Site (Basque Country)". Acta Universitatis Carolinae- Geologica. (Praga). Vol. 39, pp. 309-319.

GONZÁLEZ, A.; MARTÍN, D.; ANTIGÜEDAD, I. & SANCHO, V. (1988)."Aplicación del análisis factorial al conocimiento del origen y evolución de la salinización en el sistema acuífero 25 (provincia de Huelva). TIAC'88. Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros. pp. 521-539.

GÖSSELLE, P.; WEBER, B.; NOLTING, B. & BENDER, M. (1993)."Long-term investigation on selected landfill sites in the EC". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 1227-1236.

GRINDLEY, J. (1969)."The calculation of actual evaporation and soil moisturre deficit over specified catchment areas". Hydrological Memorandum, nº 38, Meteorological Office Bracknell. 11 pp.

Grupo de Hidrogeología de la U.P.V./E.H.U. (1990)."Caracterización físico-química de las aguas de lixiviación de algunos vertederos de R.S.U. del País Vasco". Inédito.

Grupo de Hidrogeología de la U.P.V./E.H.U. (1994)."Gestión de lixiviados en los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos: recopilación bibliográfica e investigación hidrológica en los vertederos de la provincia de Gipuzkoa". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

Grupo de Hidrogeología de la U.P.V./E.H.U. (1996)."Investigación hidrológica e hidrogeológica en vertederos de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Gipuzkoa.". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

HALLBOURG, R.R.; DELFINO, J.J. & MILLER, W.L. (1992)."Organic Priority Pollutants in Groundwater and Surface Water at Three Landfills in North Central Florida". Water, Air and Soil Pollution, nº 65, pp. 307-322.

HANCOCK, J.S. & PHILLIPS, I.R. (1993)."Groundwater protection around saturating landfill sites". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1167-1185.

HANNAN, E.J. (1970)."Multiple time series". John Wiley & Son. New York, 536 pp.

HARTMANN, K.H. & HOFFMANN, E. (1990)."Leachate treatment: desing recomendations for small but extremely fluctuating, highly polluted quantities of water". Wat.Sci.Tech. Vol. 22, nº 3-4, pp. 307-314.

HARTZ, K.E.; KLINK, R.E. & HAM, R.K. (1992)."Temperature effects: methane generation from landfill". Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 108, pp. 626.

HELSEL, D.R. (1990)."Less than obvious: statistical treatment of data below the detection limit". Environmental Science Technology, Vol. 24, nº 2, pp. 1766-1774.

HERTIG, U.; DAMIECKI, R.; HUDEL, K. & SCHULZE, O. (1993)."Investigation of the emision behaviour of various types of waste". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 2069-2080.

HIRATA, T. & MURAOKA, K. (1988)."Separation of runoff components in a small mountainous watershed using solute data". Verh. Int. Ver. Limnol., nº 23, pp. 1354-1361.

HOLMES, R. (1980)."The water balance method of estimating leachate production from landfill sites". Solid Wastes, January, pp. 20-33.

HORTON, R.E. (1919)." Rainfall interception". Monthly Weather Rev., US Weather Bureau, 47(9), pp. 603-623.

HOUNSLOW, A.W. (1980)."Groundwater geochemistry: Arsenic in landfill". Groundwater, nº 18 (4), pp. 331-333.

HOWARD, K.W.F.; EYLES, N. & LIVINGTONE, S. (1996)."Municipal landfilling practice and its impact on groundwater resources in and around urban Toronto, Canada". Hydrogeology Journal, Vol. 4, nº 1, pp. 64-79.

I.T.G.E. (1978)."Hoja 141 (Pamplona) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000".

IBÁÑEZ, E. & LEMA, J.M. (1986)."Tratamiento de los lixiviados de Residuos Sólidos Urbanos por digestión anaerobia". Ingeniería Química, Abril, pp. 145-152.

IBÁÑEZ, V. & SANCHÍS, E. (1983)."Utilización de métodos estadísticos multivariables en hidrogeoquímica". Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, Vol. IX, pp. 263-275.

IGLESIAS, N. & AZKUE, P. (1992)."Proyecto de Acondicionamiento y Restauración del vertedero de Ventas de Irun". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

IGLESIAS, N. (1992)."Informe y Proyecto de clausura, sellado y restauración del vertedero de Petritegi". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

IKERLUR (1989)."Informe Geológico. Ampliación del vertedero de San Marcos". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

IKERLUR (1990)."Informe técnico. Sondeos de reconocimiento en el vertedero de San Marcos". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

IMA Consult (1995)."Estudio y anteproyecto de tratamiento de lixiviados del vertedero de la Mancomunidad de Sasieta". Mancomunidad de Sasieta. Inédito.

INJELAN S.L. (1991)."Proyecto de ampliación del vertedero de Tolosa. Primera parte". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

INJELAN S.L. (1991)."Proyecto de conducción de lixiviados generados en el vertedero de Urola-Kosta". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

IZA, J.; KEENAN, P.J. & SWITZENBAUM, M.S. (1992)."Anaerobic treatment of municipal solid waste landfill leachate: operation of a pilot scale hybrid UASB/AF rector". Wat.Sci.Tech. Vol. 25, nº 7, pp. 255-264.

JASPER, S.E.; ATWATER, J.W. & MAVINIC, D.S. (1985)."Leachate production and characteristics as a function of water input and landfill configuration". Water Pollution Research Journal, Vol. 20, nº 3, pp. 43-57.

JONES-LEE, A. & FRED LEE, G. (1993)."Groundwater pollution by MSW landfill: leachate composition, detection and water quality significance". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1093-1103.

KERFOOT, H.B. (1993)."Landfill gas effects on groundwaters samples at a municipal solid waste facility". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1141-1153.

KJELDSEN, P. (1993)."Groundwater Pollution Source Caracterization of an Old Landfill". Journal of Contaminant Hydrology, Vol. 142, pp. 349-371.

KMET, P. & McGINLEY, P.M. (1982)."Chemical characteristics of leachate from municipal solid waste landfills in Wisconsin". Report presented at 5th Annual Madison Waste Conference, September 22-24, pp. 225-254.

KNIGHT, M.J. (1983)."Modelling of leachate discharged from a domestic solid waste landfill at Lucas Heights, Sydney, Australia". Australian Water Resources Council Conference Proceedings Groundwater and Man, Sydney, 5-9 December 1983, pp. 219-230.

KNISEL, W.G. (1980)."CREAMS: A field scale model for chemicals, run-offand erosion from agricultural management systems". U.S. Department of Agriculture. Research Report nº 26.

KNOX, K. (1991)."Water balance methods and their application to landfill in the UK". Department of the Environment. Wastes Technical Division. Research report nº CWM 031/91.

KROSS, B. (1987)."Assessment of landfill leachate toxicity and contamination of groundwater in Iowa". UMI Dissertation Information Service. 292 pp.

LABEIN & Grupo de Hidrogeología de la U.P.V./E.H.U. (1988)."Análisis del impacto ambiental de cuatro vertederos municipales de Bizkaia". Inédito.

LABEIN & Grupo de Hidrogeología de la U.P.V./E.H.U. (1989)."Caracterización de las aguas de lixiviación de vertederos de residuos urbanos. Determinación de factores condicionantes". Inédito.

LABEIN & Grupo de Hidrogeología de la U.P.V./E.H.U. (1990)."Características físico-químicas de las aguas de lixiviación de algunos vertederos de residuos sólidos urbanos

del País Vasco". Inédito.

LEUSCHNER, A.P. (1989)."Enhancement of degradation: laboratory scale experiments". In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Academic Press. pp. 83-102.

LISK, D.J. (1991)."Environmental effects of landfills". The Science of the Total Environment, nº 100, pp. 415-468.

LLAMAS, J. (1989)."Hidrología general: principios y aplicaciones". Dpto. editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México. 627 pp.

LLANOS, H. (1992)."Estudio hidrogeológico de la unidad de Urbasa-Montes de Vitoria-Treviño y sectores adyacentes". Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, 334 pp.

LLOYDS, J.W.; RAMANATHAN, C. & PACEY, N. (1979)."The use of point dilution method in determining the permeabilities of landfill materials". Water Services, nº 83 (1005): pp 843-846.

LU, J.C.S.; MORRISON, R.D. & STEARNS, R.J. (1981)."Leachate Production and Management from Municipal Landfills: Summary and Assessment". EPA-600/9-81-002a, Cincinnati, Ohio.

LUENGO, C.; GONZALO, J.M. & ANTIGUEDAD, I. (1997): "Metodologías para la estimación de la evaporación en estaciones meteorológicas automáticas. Aplicación a la red meteorológica primaria de la Comunidad Autónoma Vasca". Informe para el Servicio Vasco de Meteorología del Gobierno Vasco. Inédito.

LUISLEY, K.R. (Editor), (1982)."Hydrology for Engineers". McGraw Hill International Book Company, International Student Edition, Tokyo.

LUTTON, R.J.; REGAN, G.I. & JONES, L.W. (1979)."Desing and Construction of Covers for Solid Waste Landfills". U.S. EPA, 600-2-79-165, August.

LYNGKILDE, J. & CHRISTENSEN, T.H. (1992)."Fate of organic contaminants in the redox zones of a landfill leachate pollution plume (Vejen, Denmark)". Journal of Contaminant Hydrology, nº 10, pp. 291-307.

MAIDMENT, D.R. (Editor), (1992)."Handbook of Hydrology". Cap. 11. McGraw-Hill, Inc.

MAIER, T.B.; STEINHAUSER, E.S.; VASUKI, N.C. & POHLAND, F.G. (1995)."Integrated Leachate and Landfill Gas Management". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 53-66.

MAIONE, U. (1978)."Bacino idrografico". Lesson of Applied Hydrology. Technical University of Milan.

MANGIN, A. (1971)."Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique". Ann. Spéléol., T. 26, fasc. 2, pp. 283-329.

MANGIN, A. (1975)."Contribution à l'étude hydrodynamique des aquiféres karstiques". Ann. Spéléol., T. 30, fasc. 1, pp. 21-124.

MANGIN, A. & PULIDO, A. (1983)."Aplicación de los análisis de correlación y espectral en el estudio de los acuíferos kársticos". Tecniterrae, nº 51, pp. 53-65.

MANGIN, A. (1984)."Pour une meilleure conaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrèlatoire et spectrale". J. Hydrology, nº 67, pp. 25-43.

MANOHARAN, R.; HARPER, S.C.; MAVINIC, D.S.; RANDALL, C.W.; WANG, G. & MARICKOVICH, D.C. (1992)."Inferred metal toxicity during the biotreatment of high ammonia landfill leachate". Water Environment Research, Vol. 64, nº 7, November/December, pp. 858-865.

MATA ÁLVAREZ, J. & MARTÍNEZ-VITURTIA, A. (1986)."Laboratory simulation of municipal solid waste fermentation with leachate recycle". Journal of the Chemical Technology and biotechnology, nº 36, pp. 547.

MATELCO, S.A. (1993)."Manual de instrucciones de funcionamiento del caudalímetro EA-94". 26 pp.

MATHER, J.R. & RODRIGUEZ, P.A. (1978)."The use of the Water Budget in Evaluating Leaching Though Solid Waste Landfills". PB80-180888. U.S.Dept. of the Interior, Washington D.C.

McBEAN, A.; ROVERS, F.A. & FARQUHAR, G.J. (1995)."Solid waste landfill engineering and desing". Prentice Hall PTR. New Jersey, USA. 521 pp.

McCARTY, P.L. & McKINNEY, R.E. (1961)."Salt toxicity in anaerobic digestion". Water Pollution Control Federation Journal, Vol. 33, pp. 399.

MELLI, P. & CAPUANO, F. (1993)."Monitoring systems and hygienic-sanitary control in a municipal solid waste landfill". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1312-1320.

MINKO, O.I. & LIFSHITS, A.B. (1993)."Biogeochemical aspects regarding environmental impact of landfills". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 2, pp. 1065-1079.

MOFFAT, A.J. & HOUSTON, T.J. (1991)."Tree establishment and growth at Pitsea landfill site, Essex, UK". Waste Management and Research, nº 2 (1), pp. 35-46.

MONTEITH, J.L. (1965)."Evaporation and environment". Proc. Symp. Soc. Exp. Biol. 19, pp. 205-234.

MOPT (1992). "Residuos Sólidos Urbanos". Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 194 pp.

MORAL, S.; PULIDO, A. & VALENZUELA, P. (1984)."Aplicación de los análisis cluster al estudio de características físico-químicas de aguas subterráneas". Estudios geológicos, nº 40, pp. 193-200.

NARVAIZA, E. (1985)."Proyecto de vertedero controlado de Residuos Sólidos en Azpeitia". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

NAVARRO, A. (1989)."Contaminación y evolución geoquímica del agua subterránea del acuífero aluvial del valle del Congost (Barcelona)". Boletín Geológico y Minero, Vol. 100-1, pp. 111-133.

NEURRI Ingenieros (1985)."Proyecto de vertedero controlado comarcal en Zarautz y corrección de impacto". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

NICHOLSON, R.V.; CHERRY, J.A. & REARDON, E.J. (1983)."Migration of Contaminants in Groundwater at a Landfill : a case study". Journal of Hydrology, n° 63, pp. 131-176.

NOBLE, J.J.; NAIR, G.M. & HEESIAND, J.F. (1989)."Some numerical predictions for moisture transport in capped landfills at long times". Presented at 12th Annual Madison Waste Conference, University of Wisconsin, Madison, USA.

NOLTING, B.; GÖSSELLE, P.; WEBER, B. & BENDER, M. (1995)."Use of water balances for landfill site monitoring". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 263-274.

OBARTÍ, F.J. (1987)."El análisis de sistemas aplicado a la hidrogeología kárstica". Tesis de Licenciatura, Universidad de Granada, 230 pp.

ÖMAN, C. & HYNNING, P. (1991)."Identified organic compounds in landfill leachate". Sardinia'91 (Italy), 3rd Internatinal Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 856-863.

ÖMAN, C. & HYNNING, P. (1993)."Identification of organic compounds in municipal landfill leachates". Environmental Pollution, Vol. 80, n° 3, pp. 265-271.

OROZ, F. & OROZ, J. (1984)."Vertedero controlado de Residuos Sólidos (Beasain)". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

OWEIS, I.S.; SMITH, D.A. & GREEN, D.S. (1990)."Hydraulic characteristics of municipal refuse". A.S.C.E. J. Geotech. Eng., n° 116 (4): pp. 593-553.

PACEY, J. (1989)."Enhancement of degradation: large-scale experiments". In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Academic Press. pp. 103-119.

PADILLA, A. (1990)."Los modelos matemáticos aplicados al análisis de los acuíferos kársticos". Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 267 pp.

PALLÁS, R. (1994)."Sensores y acondicionadores de señal". Marcombo boixareu editores. Barcelona. 480 pp.

PARSONS, R. (1995)."Water balance method to predict leachate generation: geohydrological experiences". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 275-285.

PEARCE, P.F. (1988)."A field evaluation of the effectiveness of clay caps in reducing water infiltration into landfill sites". M.Phil. Thesis, University of Brunel, UK.

PENMAN, H.L. (1948)."Natural evaporation from open water, bare soil and grass". Proc. Roy. Soc., London, Series A, 193: pp. 120-146.

PERRIER, E.R. & GIBSON, A.C. (1980)."Hydrologic simulation on solid waste disposal sites. EPA-SW-868. U.S. EPA, Cincinnati, Ohio, USA. 111 pp.

PILGRIM, D.H.; HUFF, D.D. & STEELE, T.D. (1979)."Use of specific conductance and contact time relations for separating flow components in storm runoff". Water Resour. Res., nº 15, pp. 329-339.

"Plan Director para la Gestión de los R.S.U. de Gipuzkoa" (1982). Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

"Plan Integral de R.S.U. de Gipuzkoa 1996-2020" (1996). Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

POHLAND, F.G. (1980)."Leachate recycle as landfill management option". Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 106, pp. 1057.

POHLAND, F.G.; HARPER, S.H.; CHANG, K.C.; DERTIEN, J.T. & CHIAN, E.S.K. (1985)."Leachate generation and control at landfill disposal sites". Water Pollution Research Journal, Vol. 20, nº 3, pp. 10-24.

POHLAND, F.G. & GOULD, J.P. (1986)."Codisposal of municipal and industrial waste sludge in landfills". Water Science Technology, nº 18, pp. 177-192.

POHLAND, F.G.; SCHAFFER, T.R.; YARI, S. & CROSS, W.H. (1987)."The fate of selected organic pollutants during landfill disposal operations". Report supported by U.S. Army Medical Research and Development Command. 195 pp.

QASIM, S.R. & BURCHINAL, J.C. (1970)."Tracking of pollutans from refuse beds". Journal ASCE, nº 96, pp. 49-58.

REES, J.F. (1980)."Optimisation of methane production anf refuse decomposition in landfills by temperature control". Journal of the Chemical Technology and biotechnology, nº 30, pp. 458.

REVAH & AVNIMELECH (1979)."Leaching of pollutans from sanitary landfill models". Journal WPCF, nº 51. pp. 2705-2716.

RIJTEMA, P.E.; ROEST, C.W.J. & PANKOW, J. (1986). "Rapporten nº 19". Institute for Land and Water Management Research (ICW), Wagenigen, NL.

RITCHIE, J.T. (1972)."A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover". Water Res.Res., 8(5), pp. 1204-1213.

ROBINSON, H.D. (1989)."Development of methanogenic conditions within landfills". Sardinia'89, 2nd International Landfill Symposium, Vol. 1, 9 pp.

ROBINSON, H.D. & LUO, M.H. (1991)."Characterization and treatment of leachates from Hong Kong landfill sites". Journal of the Institution of Water and Environment Management, Vol. 5, nº 3 (June), pp. 326-335.

ROBINSON, H.D. & GRONOW, J.R. (1993)."A review of landfill leachate composition in the UK". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 821-832.

ROWE, R.K. (1995)."Leachate characteristics for MSW landfills". Sardinia'95 (Italy): 5th International Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 328-344.

RUIZ-URRESTARAZU, E. (1982)."La transición climática del Cantábrico Oriental al valle medio del Ebro". Diputación Foral de Alava/Arabako Foru Aldundia. Vitoria-Gasteiz.

RUSSELL, G.M. & HIGER, A.L. (1988)."Assesment of Groundwater Contamination near Lantana Landfill, Southeast Florida". Groundwater, Vol. 26, nº 2 (March-April), pp. 156-164.

SALAZAR, A. y otros (1991)."Geomorfología y Edafología de Gipuzkoa". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. 128 pp.

SCHROEDER, P.R. & GIBSON, A.C. (1982). Supporting documentation for the hydrologic simulation model for estimating percolation at solid waste disposal sites (HSSWDS), draft report, USEPA, Cincinnati, OH.

SCHROEDER, P.R.; MORGAN J.M.; WALSKI T.M. & GIBSON, A.C. (1984a)."The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model: Volume I. User's Guide for Version 1". Technical Resource Document. EPA/530-SW-84-009, U.S. EPA, Cincinnati Ohio, USA.

SCHROEDER, P.R.; GIBSON, A.C. & SMOLEN, M.D. (1984b)."Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Volume II - Documentation for Version 1". EPA/530-SW-84-010.

SCHROEDER, P.R.; PEYTON, R.L.; McENROE, B.M. & SJOSTROM, J.W. (1988a)."The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model: Volume III. User's Guide for Version 2". Internal Working Document, USAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

SCHROEDER, P.R.; McENROE, B.M.; PEYTON, R.L. & SJOSTROM, J.W. (1988b)."The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model: Volume IV, Documentation for Version 2". Internal Working Document, USAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

SCHROEDER, P.R.; DOZIER, T.R.; ZAPPI, P.A.; McENROE, B.M.; SJOSTROM, J.W. & PEYTON, R.L. (1994a)."The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model: User's Guide for Version 3". EPA/600/9-94, U.S. Environmental Protection Agency Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH.

SCHROEDER, P.R.; DOZIER, T.R.; ZAPPI, P.A.; McENROE, B.M.; SJOSTROM, J.W. & PEYTON, R.L. (1994b)."The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance

(HELP) model: Engineering Documentation for Version 3". EPA/600/9-94, U.S. Environmental Protection Agency Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH.

SHAW, M.E. (1983)."Hydrology in Practice". Van Nostrand Reinhold Co. Ltd., UK.

SRIDHARAN, L. & DIDIER, P. (1988)."Leachate quality from containtment landfills in Wisconsin". ISWA Congress, Enviro88, Amsterdam, September, Vol. 2, pp. 133-138.

STANFORTH, R. *et al.* (1979)."Development of a synthetic municipal landfill leachate". Journal WPCF, nº 51.

STANLEY, C.R. & SINCLAIR, A.J. (1989)."Comparation of probability plots and the gap statistic in the selection of thresholds for exploration geochemistry data". Journal of Geochemical Exploration, nº 29, pp. 333-353.

STEGMANN, R. & SPENDLIN, H.H. (1989)."Enhancement of degradation: German experiences". In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Academic Press. pp. 61-82.

STONE, R. (1974)."Disposal of sewage sludge into a sanitary landfill". Report nº SW-71d, U.S.EPA.

STRAKA, F.; CRHA, J. & KOBROVA, Y. (1993)."Important changes in sanitary landfills during their aging". Sardinia'93 (Italy): 4th International Landfill Symposium, Vol. I, pp. 573-580.

STRAUB & LYNCH (1982). "Models of landfill leaching: moisture flow and inorganic strength". Journal ASCE, nº 108. pp. 231-250.

STUMM, W. & MORGAN, J.J. (1981)."Aquatic chemistry. An introduction emphasing chemical equilibria in natural waters". John Wiley & Sons, Brisbane, Australia.

SUGARAWA, M.; OZAKI, E. & WATANABE, I. (1974)."Tank model and its application to Bird Creek, Bikin River, Kitsu River and Nam Mune". Researche notes of the National Researhe Center for Disaster Prevention , nº 11.

TAMÉS, P. (1984)."Informe geológico del emplazamiento del vertedero de Beasain". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

TAMÉS, P. (1985)."Estudio geológico preliminar del emplazamiento del vertedero de la comarca de Zarautz". Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia. Inédito.

TEJERO, I.; SZANTO, M. & DIAZ, R.M. (1989)."Tratamiento de los lixiviados de vertederos controlados". Retema, Nov-Dic.; pp. 65-73.

TEJERO, I.; FANTELLI, M.; DIAZ, R. & SZANTO, M. (1993)."Characteristics and treatament of leachates in the Meruelo landfill (Spain)". Sardinia'93 (Italy), 4th International Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 1033-1042.

THOMPSON, N.; BARRIE, I.A. & AYLES, M. (1991)."The Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS". Hydrological Memorandum nº 45, Meteorological Office, Bracknell. 69 pp.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. (1957)."Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance". Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, Vol X, nº 3, pp. 185-311. Centerton, New Jersey, USA.

THORNTHWAITE, C.W. (1954)."Final Report: micrometeorology of the surface layer of the atmosphere; the flux of momentum, heat and water vapour". Publications in Climatology, Vol. III, nº 2.

THURMAN, E.M. (1985)."Organic geochemistry of natural waters". Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers.

URIARTE, A. (1980)."La lluvia en la costa Norte de la Península Ibérica". Lurralde. Investigación y Espacio, nº 3, pp. 103-107.

USDA, Soil Conservation Service (1972)."National Engineering Handbook. Section 4: Hydrology". US Government Printing Office, Washington, DC. 631 pp.

VIESSMAN, W.; KNAPP, J.W.; LEWIS, G.L. & HARBAUGH, T. (1977)."Introduction to Hydrology". 2nd Edition. IEP Dun-Donnelley, New York.

WIGH, R.J. (1979)."Boone Country field site. Interim report". USEPA 600/2-79-058.

WILDSCHUT, L.R. (1995)."¿Y ahora qué hacemos con los lodos?". Revista técnica RESIDUOS, nº 25, pp. 56-65.

WILLIAMS, J.R.; NICKS, A.D. & AMOLD, J.G. (1985)."Simulator for Water Resources in Rural Basins". J. Hydraulic Eng.ASCE, 111(6), pp. 970-986.

YUEN, S.T.S.; STYLES, J.R. & McMAHON, T.A. (1995)."An active landfill management by leachate recirculation: a review and an outline of a full-scale project". Sardinia'95 (Italy), 5th International Landfill Symposium, Vol. 1, pp. 403-418.

YUSTA, I. (1993)."Litogeoquímica del Cretácico Inferior en el anticlinal de Bilbao. Cuenca Vascocantábrica". Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. 485 pp.

ZUBIAGA, R.; BONILLA, A.; ANTIGÜEDAD, I. & LUENGO, C. (1991)."Cuantificación de aguas de lixiviación en vertederos de residuos mediante modelos de simulación". II Congreso de Ingeniería Ambiental. pp. 325-337. Bilbao.

ZUBIAGA, R.; GRANDA, J.M.; REYES, J.; ANTIGÜEDAD, I. & MORALES, T. (1989). Análisis de la afección de 4 vertederos municipales a las aguas superficiales. Revista RETEMA, nº 1, pp. 17-24.

ANEXOS

ANEXOS

CAPÍTULO 4

Anexo 4.1. Listado de programas y estructura de las bases de datos utilizadas:

Anexo 4.1.1. Listado de los programas TRANS.prg y ONDASMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Anexo 4.1.2. Listado del programa LHYDRMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Anexo 4.1.3. Listado del programa METOSMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Anexo 4.1.4. Listado del programa MHIDRMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Anexo 4.2. Series de datos de partida para el Análisis correlatorio y espectral.

Anexo 4.3. Resultados del Análisis correlatorio y espectral.

Anexo 4.3.1. Resultados numéricos del Análisis correlatorio y espectral.

Anexo 4.3.2. Resultados gráficos del Análisis correlatorio y espectral:

- Funciones de amplitud cruzada y de fase. Vertedero de Lapatx.
- Funciones de ganancia y coherenccia. Vertedero de Lapatx.

Anexo 4.4. Fundamento del cálculo de la evapotranspiración potencial y de la percolación a intervalos de 30 minutos en el vertedero de R.S.U de Lapatx.

ANEXO 4.1. Listado de programas y estructura de las bases de datos utilizadas:

ANEXO 4.1.1. Listado de los programas TRANS.prg y ONDASMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Listado del programa **TRANS.prg**:

```
SET TALK OFF
SET ECHO OFF
SET SCOREBOARD OFF
SET STATUS OFF
@ 1,1 TO 15,79 DOUBLE
@ 2,20 SAY "E.H.U.ko HIDROLOGIA IKERTALDEA 1993-10"
@ 4,7 SAY "ESTE PROGRAMA GUARDA LOS DATOS CONTENIDOS EN FICHEROS *.PRN"
@ 5,7 SAY "QUE SALEN DEL PROGRAMA RUSTRAK EN LAS BASES DE DATOS ONDAS10M.DBF"
@ 6,7 SAY "Y LIXDIA.DBF"
STORE SPACE(13) TO FICH1
STORE SPACE(6) TO FEC
@ 8,2 TO 14,78
@ 10,7 SAY "NOMBRE DEL FICHERO DE ENTRADA (con su ext)" GET FICH1 PICTURE "@!"
@ 12,7 SAY "FECHA DE INICIO DE LA TOMA DE DATOS (AA.MM):" GET FEC PICTURE "@!"
READ
@ 18,35 SAY "CALCULANDO"
SET DATE ANSI
FECHAINC=CTOD(FEC+".01")
***** CONVIERTE LOS DATOS A UN FORMATO DBASE III+ *****
SELECT 1
USE INTERMED
APPEND FROM C:\RUSTRAK\&FICH1 TYPE SDF DELIMITED WITH ","
***** EXTRAE Y GUARDA EN ONDAS10M.DBF SOLO AQUELLOS DATOS QUE INTERESAN *****
SELECT 2
USE ONDAS10M
GO BOTTOM
REG=RECNO()
SELECT 1
GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
  VFECHA=FECHAINC+INT((TIEMPO/3600)/24)
  VHOR=MOD((INT(TIEMPO/3600)),24)
  VMIN=MOD((INT(TIEMPO/60)),60)
  VALT=MEDIO*150
  IF MEDIO*15-4.33>0
    Q=0.09166*(MEDIO*15-4.33)^1.916697
  ELSE
    Q=-1
  ENDIF
  SELECT 2
   APPEND BLANK
   REPLACE FECHA WITH VFECHA
   REPLACE HOR WITH VHOR
   REPLACE MIN WITH VMIN
   REPLACE ALTURA WITH VALT
   REPLACE CAUDAL WITH Q
  SELECT 1
IF .NOT. EOF()
SKIP
ENDIF
ENDDO
SELECT 1
DELETE ALL
PACK
WAIT "Fin del programa, pulse cualquier tecla para volver al punto indicativo"
CLOSE ALL
SET SCOREBOARD ON
SET STATUS ON
SET TALK ON
SET ECHO ON
```

Listado del programa **ONDASMED.prg**:

```
SET TALK OFF
SET ECHO OFF
SET SCOREBOARD OFF
SET STATUS OFF
@ 1,1 TO 15,79 DOUBLE
@ 2,20 SAY "E.H.U.ko HIDROLOGIA IKERTALDEA 1993-10"
@ 4,7 SAY "ESTE PROGRAMA CALCULA LAS MEDIAS HORARIAS Y DIARIAS"
@ 5,7 SAY " A PARTIR DE LOS REGISTROS DEL FICHERO LIX10M.DBF"
@ 6,7 SAY "Y LIXDIA.DBF"
STORE SPACE(13) TO FICH1
@ 8,2 TO 14,78
@ 10,7 SAY "NOMBRE DEL FICHERO DE ENTRADA (con su ext)" GET FICH1 PICTURE "@!"
@ 18,35 SAY "CALCULANDO"
SELECT 1
USE ONDAS10M
SELECT 2
USE ONDASHOR
SELECT 1
DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE FECHA TO FECH
  STORE HOR TO HO
  AVERAGE ALTURA,CAUDAL WHILE (FECH=FECHA .AND. HO=HOR .AND. .NOT. EOF()) TO ALTU,Q
  SELECT 2
   APPEND BLANK
   REPLACE DIAS WITH FECH
   REPLACE HORA WITH HO
   REPLACE ALT WITH ALTU
   REPLACE QH WITH Q
  SELECT 1
ENDDO
SELECT 3
USE ONDASDIA
SELECT 2
GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE DIAS TO D
  AVERAGE QH WHILE (D=DIAS .AND. .NOT. EOF()) TO QM
  SELECT 3
   APPEND BLANK
   REPLACE DIA WITH D
   REPLACE QD WITH QM
  SELECT 2
ENDDO
CLOSE ALL
SET SCOREBOARD ON
SET STATUS ON
SET TALK ON
SET ECHO ON
```

Estructura de la base de datos **INTERMED.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	TIEMPO	Numérico	12	
2	C1	Carácter	1	
3	ACUM	Numérico	12	
4	C2	Carácter	1	
5	INTERV	Numérico	12	
6	C3	Carácter	1	
7	REG	Numérico	12	
8	C4	Carácter	1	
9	VALOR	Numérico	12	4
10	C5	Carácter	1	
11	MEDIO	Numérico	12	4
12	C6	Carácter	1	
13	MAX	Numérico	12	4

14	C7	Carácter	1	
15	MIN	Numérico	12	4
16	C8	Carácter	1	

Estructura de la base de datos **ONDAS10M.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	FECHA	Fecha	8	
2	HOR	Numérico	2	
3	MIN	Numérico	2	
4	ALTURA	Numérico	6	2
5	CAUDAL	Numérico	7	4

Estructura de la base de datos **ONDASHOR.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	DIAS	Fecha	8	
2	HORA	Numérico	2	
3	ALT	Numérico	6	2
4	QH	Numérico	5	2

Estructura de la base de datos **ONDASDIA.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	DIA	Fecha	8	
2	QD	Numérico	5	2

ANEXO 4.1.2. Listado del programa LHYDRMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Listado del programa **LHYDRMED.prg**:

```
SET TALK OFF
SET ECHO OFF
SET SCOREBOARD OFF
SET STATUS OFF
@ 1,1 TO 15,79 DOUBLE
@ 2,20 SAY "E.H.U.ko HIDROLOGIA IKERTALDEA 1994-09-05"
@ 4,7 SAY "ESTE PROGRAMA CALCULA LAS MEDIAS HORARIAS Y DIARIAS A PARTIR"
@ 5,7 SAY "DE LOS REGISTROS DE LOS FICHEROS *.DBF QUE CONTIENEN DATOS CADA"
@ 6,7 SAY "10 MINUTOS RELATIVOS A CAUDAL,TEMPERATURA,CONDUCTIVIDAD y pH"
STORE SPACE(13) TO FICH1
@ 8,2 TO 14,78
@ 10,7 SAY "NOMBRE DEL FICHERO DE ENTRADA (con su ext)" GET FICH1 PICTURE "@!"
READ
@ 18,35 SAY "CALCULANDO"
SELECT 1
USE LHYDRPRE
APPEND FROM C:\miguel\&FICH1
SELECT 2
USE LHYDRHOR
SELECT 1
GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE FECHA TO FECH
  STORE SUBST(HORA,1,2) TO HOR
   AVERAGE TEMP,COND,CC,PH,ALT,CAUD WHILE (FECH=FECHA .AND. HOR=SUBST(HORA,1,2) .AND.
.NOT. EOF()) TO TEM,CON,C,P,ALTU,CAU
   SELECT 2
   APPEND BLANK
   REPLACE DIAS WITH FECH
   REPLACE HORAS WITH HOR
   REPLACE TEMPH WITH TEM
   REPLACE CONDH WITH CON
   REPLACE CCH WITH C
```

```
   REPLACE PHH WITH P
   REPLACE ALTH WITH ALTU
   REPLACE QH WITH CAU
   SELECT 1
ENDDO
SELECT 1
DELETE ALL
PACK
***** ALMACENAN LOS DATOS DIARIOS EN LHYDRDIA.DBF *****
SELECT 3
USE LHYDRDIA
GO BOTTOM
SELECT 2
 GO TOP
 DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE DIAS TO F
     AVERAGE TEMPH,CONDH,CCH,PHH,ALTH,QH WHILE (F=DIAS .AND. .NOT. EOF()) TO
TM,CONDM,CCM,PHM,ALTM,QM
   SELECT 3
   APPEND BLANK
   REPLACE DIA WITH F
   REPLACE TEMPD WITH TM
   REPLACE CONDD WITH CONDM
   REPLACE CCD WITH CCM
   REPLACE PHD WITH PHM
   REPLACE ALTD WITH ALTM
   REPLACE QD WITH QM
   SELECT 2
 ENDDO
 WAIT "Fin del programa, pulse cualquier tecla para volver al punto indicativo"
 CLOSE ALL
 SET SCOREBOARD ON
 SET STATUS ON
 SET TALK ON
 SET ECHO ON
```

Estructura de la base de datos **LHYDRPRE.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	FECHA	Fecha	8	
2	HORA	Carácter	5	
3	TEMP	Numérico	7	2
4	COND	Numérico	7	2
5	CC	Numérico	7	2
6	PH	Numérico	7	2
7	ALT	Numérico	7	2
8	CAUD	Numérico	7	2

Estructura de la base de datos **LHYDRHOR.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	DIAS	Fecha	8	
2	HORAS	Carácter	5	
3	TEMPH	Numérico	7	2
4	CONDH	Numérico	7	2
5	CCH	Numérico	7	2
6	PHH	Numérico	7	2
7	ALTH	Numérico	7	2
8	QH	Numérico	7	2

Estructura de la base de datos **LHYDRDIA.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	DIA	Fecha	8	
2	TEMPD	Numérico	7	2

3	CONDD	Numérico	7	2
4	CCD	Numérico	7	2
5	PHD	Numérico	7	2
6	ALTD	Numérico	7	2
7	QD	Numérico	7	2

ANEXO 4.1.3. Listado del programa METOSMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Listado del programa **METOSMED.prg**:

```
SET TALK OFF
SET ECHO OFF
SET SCOREBOARD OFF
SET STATUS OFF
@ 1,1 TO 15,79 DOUBLE
@ 2,20 SAY "E.H.U.ko HIDROLOGIA IKERTALDEA 1994-09-02"
@ 4,7 SAY "ESTE PROGRAMA CALCULA LAS MEDIAS HORARIAS Y DIARIAS A PARTIR"
@ 5,7 SAY "DE LOS REGISTROS DE LOS FICHEROS *.DBF QUE CONTIENEN DATOS"
@ 6,7 SAY "CLIMATICOS PROCEDENTES DE LA ESTACION METOS A INTERVALOS DE"
@ 7,7 SAY "12 MINUTOS"
STORE SPACE(13) TO FICH1
@ 8,2 TO 14,78
@ 10,7 SAY "NOMBRE DEL FICHERO DE ENTRADA (con su ext)" GET FICH1 PICTURE "@!"
READ
@ 18,35 SAY "CALCULANDO"
SELECT 1
USE METOSPRE
APPEND FROM C:\MIGUEL\&FICH1
SELECT 2
USE METOSHOR
SELECT 1
GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE FECHA TO FECH
  STORE INT(HORA/100) TO HOR
  REG1=RECNO()
    AVERAGE T_AIRE,RAD_SOLAR,HUM_REL WHILE (FECH=FECHA .AND. HOR=INT(HORA/100) .AND.
.NOT. EOF()) TO TA,RAD,HUMI
  GO REG1
  SUM PRECIPIT WHILE (FECH=FECHA .AND. HOR=INT(HORA/100) .AND. .NOT. EOF()) TO PRECIPI
  SELECT 2
   APPEND BLANK
   REPLACE DIAS WITH FECH
   REPLACE HORAS WITH HOR
   REPLACE PRECH WITH PRECIPI
   REPLACE TEMPH WITH TA
   REPLACE RADH WITH RAD
   REPLACE HUMH WITH HUMI
   SELECT 1
ENDDO
DELETE ALL
PACK
***** ALMACENAN LOS DATOS DIARIOS EN METOSDIA.DBF *****
SELECT 3
USE METOSDIA
GO BOTTOM
SELECT 2
GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE DIAS TO D
  REG2=RECNO()
  AVERAGE TEMPH,RADH,HUMH WHILE (D=DIAS .AND. .NOT. EOF()) TO TEMPM,RADM,HUMM
  GO REG2
  SUM PRECH WHILE (D=DIAS .AND. .NOT. EOF()) TO PRECM
  SELECT 3
   APPEND BLANK
```

```
   REPLACE DIA WITH D
   REPLACE PRECD WITH PRECM
   REPLACE TEMPD WITH TEMPM
   REPLACE RADD WITH RADM
   REPLACE HUMD WITH HUMM
  SELECT 2
ENDDO
WAIT "Fin del programa, pulse cualquier tecla para volver al punto indicativo"
CLOSE ALL
SET SCOREBOARD ON
SET STATUS ON
SET TALK ON
SET ECHO ON
```

Estructura de la base de datos **METOSPRE.DBF**:

CAMPO	NOMBRE	TIPO	ANCHO	DEC
1	FECHA	Fecha	8	
2	HORA	Numérico	4	
3	PRECIPIT	Numérico	5	1
4	VEL_VIE	Numérico	6	2
5	DIR_VIE	Numérico	5	
6	T_AIRE	Numérico	6	2
7	RAD_SOLAR	Numérico	6	
8	HUM_REL	Numérico	4	

Estructura de la base de datos **METOSHOR.DBF**:

CAMPO	NOMBRE	TIPO	ANCHO	DEC
1	DIAS	Fecha	8	
2	HORAS	Numérico	4	
3	PRECH	Numérico	5	1
4	TEMPH	Numérico	6	2
5	RADH	Numérico	6	
6	HUMH	Numérico	4	

Estructura de la base de datos **METOSDIA.DBF**:

CAMPO	NOMBRE	TIPO	ANCHO	DEC
1	DIAS	Fecha	8	
2	PRECD	Numérico	5	1
3	TEMPD	Numérico	6	2
4	RADD	Numérico	6	
5	HUMD	Numérico	4	

ANEXO 4.1.4. Listado del programa MHIDRMED.prg y estructura de las bases de datos asociadas.

Listado del programa **MHIDRMED.prg**:

```
SET TALK OFF
 SET ECHO OFF
 SET SCOREBOARD OFF
 SET STATUS OFF
 @ 1,1 TO 16,79 DOUBLE
 @ 2,20 SAY "E.H.U.ko HIDROLOGIA IKERTALDEA 1996-07-16"
 @ 4,7 SAY "ESTE PROGRAMA CALCULA LAS MEDIAS HORARIAS Y DIARIAS A PARTIR"
 @ 5,7 SAY "DE LOS REGISTROS DE LOS FICHEROS *.DBF QUE CONTIENEN DATOS CADA"
 @ 6,7 SAY "10 MINUTOS RELATIVOS A CAUDAL,TEMPERATURA,CONDUCTIVIDAD,O2"
 @ 7,7 SAY ",REDOX Y PH"
 STORE SPACE(13) TO FICH1
 @ 9,2 TO 14,78
 @ 10,7 SAY "NOMBRE DEL FICHERO DE ENTRADA (con su ext)" GET FICH1 PICTURE "@!"
 READ
 @ 18,35 SAY "CALCULANDO"
```

```
SELECT 1
USE MHIDRPRE
APPEND FROM C:\SANMARC\&FICH1
SELECT 2
USE MHIDRHOR
SELECT 1
GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE FECHA TO FECH
  STORE SUBST(HORA,1,2) TO HOR
      AVERAGE TEMP,COND,CC,PH,O2,REDOX,ALT,CAUD WHILE (FECH=FECHA .AND. HOR=SUBST
(HORA,1,2) .AND. .NOT. EOF()) TO TEM,CON,C,P,O,RED,ALTU,CAU
  SELECT 2
   APPEND BLANK
   REPLACE DIAS WITH FECH
   REPLACE HORAS WITH HOR
   REPLACE TEMPH WITH TEM
   REPLACE CONDH WITH CON
   REPLACE CCH WITH C
   REPLACE PHH WITH P
   REPLACE O2H WITH O
   REPLACE REDOXH WITH RED
   REPLACE ALTH WITH ALTU
   REPLACE CAUDH WITH CAU
   SELECT 1
ENDDO
SELECT 1
DELETE ALL
PACK
***** ALMACENAN LOS DATOS DIARIOS EN LHYDRDIA.DBF *****
SELECT 3
USE MHIDRDIA
GO BOTTOM
SELECT 2
 GO TOP
DO WHILE .NOT. EOF()
  STORE DIAS TO F
 AVERAGE TEMPH,CONDH,CCH,PHH,O2H,REDOXH,ALTH,CAUDH WHILE (F=DIAS .AND. .NOT. EOF()) TO
TM,CONDM,CCM,PHM,O2M,REDOXM,ALTM,CAUDM
  SELECT 3
   APPEND BLANK
   REPLACE DIA WITH F
   REPLACE TEMPD WITH TM
   REPLACE CONDD WITH CONDM
   REPLACE CCD WITH CCM
   REPLACE PHD WITH PHM
   REPLACE O2D WITH O2M
   REPLACE REDOXD WITH REDOXM
   REPLACE ALTD WITH ALTM
   REPLACE CAUDD WITH CAUDM
  SELECT 2
ENDDO
WAIT "Fin del programa, pulse cualquier tecla para volver al punto indicativo"
CLOSE ALL
SET SCOREBOARD ON
SET STATUS ON
SET TALK ON
SET ECHO ON
```

Estructura de la base de datos **MHIDRPRE.DBF**:

CAMPO	NOMBRE	TIPO	ANCHO	DEC
1	FECHA	Fecha	8	
2	HORA	Carácter	5	
3	TEMP	Numérico	7	2
4	COND	Numérico	7	2
5	CC	Numérico	7	2

6	PH	Numérico	7	2
7	O2	Numérico	7	2
8	REDOX	Numérico	7	
9	ALT	Numérico	7	2
10	CAUD	Numérico	7	2

Estructura de la base de datos **MHIDRHOR.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	DIAS	Fecha	8	
2	HORAS	Carácter	5	
3	TEMPH	Numérico	7	2
4	CONDH	Numérico	7	2
5	CCH	Numérico	7	2
6	PHH	Numérico	7	2
7	O2H	Numérico	7	2
8	REDOXH	Numérico	7	
9	ALTH	Numérico	7	2
10	CAUDH	Numérico	7	3

Estructura de la base de datos **MHIDRDIA.DBF**:

CAMPO	**NOMBRE**	**TIPO**	**ANCHO**	**DEC**
1	DIA	Fecha	8	
2	TEMPD	Numérico	7	2
3	CONDD	Numérico	7	2
4	CCD	Numérico	7	2
5	PHD	Numérico	7	2
6	O2D	Numérico	7	2
7	REDOXD	Numérico	7	
8	ALTD	Numérico	7	2
9	CAUDD	Numérico	7	3

DIA	Pp (1037Q)	Q (l/seg)
30/7/91	6,8	0,603
31/7/91	3,2	0,686
1/8/91	0,4	0,673
2/8/91	0	0,646
3/8/91	0	0,625
4/8/91	0	0,600
5/8/91	0	0,644
6/8/91	1,3	0,604
7/8/91	4,3	0,688
8/8/91	10,6	0,781
9/8/91	6,1	0,891
10/8/91	0	0,786
11/8/91	0	0,588
12/8/91	0	0,555
13/8/91	0	0,555
14/8/91	0	0,507
15/8/91	0	0,447
16/8/91	0	0,479
17/8/91	0	0,513
18/8/91	0	0,483
19/8/91	0	0,438
20/8/91	0	0,479
21/8/91	0	0,492
22/8/91	0	0,483
23/8/91	0	0,385
24/8/91	0	0,419
25/8/91	0,1	0,432
26/8/91	1,4	0,423
27/8/91	2,1	0,385
28/8/91	0	0,404
29/8/91	0	0,418
30/8/91	0	0,369
31/8/91	1,1	0,383
1/9/91	0	0,355
2/9/91	17,4	1,302
3/9/91	4,6	1,718
4/9/91	0	0,793
5/9/91	0	0,508
6/9/91	31,9	2,402
7/9/91	0	1,082
8/9/91	0	0,823
9/9/91	0	0,769
10/9/91	5,3	0,658
11/9/91	11,2	1,765
12/9/91	11,5	2,528
13/9/91	3,2	3,176
14/9/91	0	1,566
15/9/91	0	1,193
16/9/91	0	1,085
17/9/91	0	0,996
18/9/91	0	0,860
19/9/91	0	0,788
20/9/91	0	0,798
21/9/91	0	0,719
22/9/91	0,3	0,732
23/9/91	0	0,748
24/9/91	0	0,717
25/9/91	1,6	2,898
26/9/91	32,3	2,563
27/9/91	3,5	1,649
28/9/91	8,3	1,771
29/9/91	57,2	2,151
30/9/91	24,9	24,234
1/10/91	0	10,260
2/10/91	0	5,924
3/10/91	0	4,395
4/10/91	0	3,647
5/10/91	15,2	3,660
6/10/91	0	4,481
7/10/91	0	3,793
8/10/91	3	3,369
9/10/91	0	3,923
10/10/91	56,3	7,902
11/10/91	0	11,643
12/10/91	0	7,395
13/10/91	0	5,696
14/10/91	0	4,686
15/10/91	0	4,021
16/10/91	0	3,572
17/10/91	2,1	3,218

DIA	Pp (1037Q)	Q (l/seg)
18/10/91	18	3,254
19/10/91	19,2	5,935
20/10/91	3,7	7,085
21/10/91	6,2	6,696
22/10/91	0	6,127
23/10/91	0	5,435
24/10/91	0	5,045
25/10/91	0	4,856
26/10/91	0	4,659
27/10/91	10	4,502
28/10/91	2,5	3,948
29/10/91	0	3,592
30/10/91	2,1	3,385
31/10/91	0	3,258
1/11/91	0	3,008
2/11/91	0	2,891
3/11/91	2,1	2,910
4/11/91	16,5	3,240
5/11/91	23,7	7,281
6/11/91	0,9	9,812
7/11/91	0	6,953
8/11/91	0	5,999
9/11/91	9,2	5,841
10/11/91	0	5,805
11/11/91	0	5,377
12/11/91	0	4,933
13/11/91	15,7	7,414
14/11/91	13,2	7,960
15/11/91	35,2	13,305
16/11/91	11,1	19,489
17/11/91	0,5	14,526
18/11/91	14,8	11,279
19/11/91	45,3	11,835
20/11/91	64,6	34,480
21/11/91	25,4	46,070
22/11/91	0	26,608
23/11/91	0	16,041
24/11/91	0	12,305
25/11/91	0	10,106
26/11/91	0	8,522
27/11/91	0	7,529
28/11/91	0	6,804
29/11/91	0	5,591
30/11/91	0	5,144
1/12/91	1,8	4,752
2/12/91	0	4,457
3/12/91	0,2	4,228
4/12/91	0	4,035
5/12/91	0	3,878
6/12/91	0	3,630
7/12/91	0	3,547
8/12/91	0	3,448
9/12/91	0	3,306
10/12/91	0	3,135
11/12/91	0	2,987
12/12/91	0	2,884
13/12/91	0	2,733
14/12/91	0	2,621
15/12/91	0	2,549
16/12/91	0	2,533
17/12/91	0	2,400
18/12/91	2,1	2,454
19/12/91	5,8	2,414
20/12/91	17,8	3,989
21/12/91	0	4,607
22/12/91	0	3,358
23/12/91	0	3,063
24/12/91	0	2,975
25/12/91	0	2,810
26/12/91	0	2,747
27/12/91	0	2,626
28/12/91	1,5	2,624
29/12/91	0	2,585
30/12/91	0	2,553
31/12/91	0	2,445
1/1/92	0	2,420
2/1/92	0	2,403
3/1/92	0	2,229
4/1/92	0	2,151
5/1/92	0	2,135

DIA	Pp (1037Q)	Q (l/seg)
6/1/92	0	2,064
7/1/92	0	2,027
8/1/92	0	1,884
9/1/92	11,9	1,913
10/1/92	19,1	3,215
11/1/92	1,2	3,145
12/1/92	2,5	2,599
13/1/92	0	2,523
14/1/92	0	2,434
15/1/92	0	2,308
16/1/92	0	2,300
17/1/92	0,6	2,273
18/1/92	0	2,226
19/1/92	0	2,171
20/1/92	4,7	2,335
21/1/92	0	4,421
22/1/92	36,9	3,800
23/1/92	0	3,593
24/1/92	0	3,575
25/1/92	0	3,425
26/1/92	0	3,328
27/1/92	5,3	3,230
28/1/92	0	3,127
29/1/92	0	3,032
30/1/92	0	2,885
31/1/92	0	2,685
1/2/92	0	2,583
2/2/92	0	2,509
3/2/92	0	2,406
4/2/92	0	2,214
5/2/92	0	2,058
6/2/92	0	1,976
7/2/92	0	1,931
8/2/92	0	1,904
9/2/92	0,3	1,899
10/2/92	0	1,827
11/2/92	0	1,811
12/2/92	0	2,103
13/2/92	19,1	2,820
14/2/92	4,5	2,207
15/2/92	0	2,030
16/2/92	1,2	2,064
17/2/92	4,7	2,394
18/2/92	0	2,217
19/2/92	0	2,117
20/2/92	0	2,051
21/2/92	0	1,981
22/2/92	0	1,926
23/2/92	0	1,903
24/2/92	0	1,888
25/2/92	0	1,816
26/2/92	0	1,778
27/2/92	0	1,778
28/2/92	0,5	1,736
29/2/92	0	1,718
1/3/92	0	1,633
2/3/92	0	1,641
3/3/92	0	1,588
4/3/92	0	1,548
5/3/92	5,1	1,513
6/3/92	0	1,520
7/3/92	0	1,475
8/3/92	0,7	1,528
9/3/92	6,4	1,453
10/3/92	0	1,429
11/3/92	0	1,493
12/3/92	0	1,405
13/3/92	0	1,349
14/3/92	3,2	1,391
15/3/92	1	1,362
16/3/92	0,7	1,349
17/3/92	0	1,324
18/3/92	0	1,319
19/3/92	0	1,254
20/3/92	0	1,235
21/3/92	0	1,230
22/3/92	0	1,197
23/3/92	47,6	2,430
24/3/92	47	8,961
25/3/92	12	13,053
26/3/92	56,4	14,069

Anexo 4.2. Series de datos de partida para el Análisis correlatorio y espectral.
ACE-I. Periodo: 30-7-91 a 26-3-92.

DIA	Pp (1037Q)	Pp (Lapatx)	Q (l/seg)
30/9/93	22,4	1,6	6,187
1/10/93	0	26,0	7,263
2/10/93	30,8	15,6	9,118
3/10/93	34,4	31,6	12,874
4/10/93	0	0,0	11,972
5/10/93	0	0,2	9,581
6/10/93	0	0,6	7,916
7/10/93	0	0,8	6,861
8/10/93	0	0,0	5,930
9/10/93	0	0,2	5,110
10/10/93	0	0,4	4,491
11/10/93	6,1	5,8	4,461
12/10/93	5,6	0,0	4,568
13/10/93	0	2,8	4,201
14/10/93	6,3	1,0	3,770
15/10/93	0	0,0	3,375
16/10/93	0	0,2	3,008
17/10/93	0	8,6	2,947
18/10/93	4,2	1,4	2,789
19/10/93	0	0,2	2,394
20/10/93	0	1,0	2,162
21/10/93	16,5	33,0	5,027
22/10/93	10,8	23,4	5,384
23/10/93	23	23,6	7,643
24/10/93	21	7,4	8,736
25/10/93	0,5	0,6	6,718
26/10/93	0	0,2	5,700
27/10/93	0	0,0	5,016
28/10/93	2,2	3,0	4,533
29/10/93	0	0,4	4,146
30/10/93	0	0,2	3,830
31/10/93	0	2,4	3,699
1/11/93	0	0,2	3,586
2/11/93	0	4,4	3,494
3/11/93	7,5	0,2	3,407
4/11/93	0	0,0	3,166
5/11/93	0	0,8	3,052
6/11/93	0	19,4	3,445
7/11/93	29,7	19,4	5,808
8/11/93	10	5,4	4,799
9/11/93	0	0,6	4,340
10/11/93	0	3,0	4,021
11/11/93	2	6,4	3,798
12/11/93	5	3,0	3,797
13/11/93	0	0,2	3,688
14/11/93	0	2,6	3,520
15/11/93	1,2	0,2	3,410
16/11/93	0	0,2	3,312
17/11/93	0	0,0	3,230
18/11/93	0	0,0	3,100
19/11/93	0	0,2	3,095
20/11/93	0	0,0	3,030
21/11/93	0	0,0	2,952
22/11/93	0	0,0	2,787
23/11/93	0	0,0	2,688
24/11/93	0	0,4	2,648
25/11/93	0	0,0	2,597
26/11/93	0	0,2	2,492
27/11/93	0	0,0	2,395
28/11/93	0	1,0	2,326
29/11/93	0	0,2	2,324
30/11/93	15,7	18,6	2,725
1/12/93	12,5	25,2	3,522
2/12/93	0	5,4	4,895
3/12/93	11,5	0,2	3,470
4/12/93	0	0,2	2,882
5/12/93	0	3,4	2,737
6/12/93	0	0,6	2,551
7/12/93	0	0,0	2,481
8/12/93	0	0,4	2,390
9/12/93	0	0,2	2,376
10/12/93	0	0,2	2,338
11/12/93	5	3,6	2,394
12/12/93	0	0,2	2,385
13/12/93	0	1,8	2,357
14/12/93	6	14,6	2,702
15/12/93	9,5	1,0	2,824
16/12/93	1	5,8	2,756
17/12/93	0	0,0	2,743
18/12/93	0	0,4	2,768
19/12/93	5,7	1,2	2,668
20/12/93	0	0,2	2,729
21/12/93	6,4	10,8	2,898
22/12/93	6	1,4	2,913
23/12/93	17,3	0,0	2,566
24/12/93	29,2	42,4	5,102
25/12/93	0	87,6	16,272
26/12/93	96,3	82,6	
27/12/93	29,5	47,4	
28/12/93	30	21,8	
29/12/93	1	13,4	
30/12/93	9,7	0,6	17,269
31/12/93	0	10,2	11,971
1/1/94	10,3	5,6	10,510
2/1/94	0	0,0	8,796
3/1/94	0	9,8	8,198
4/1/94	7,7	0,2	7,738
5/1/94	0	0,2	7,004
6/1/94	6,5		6,598
7/1/94	8		6,310
8/1/94	6	5,8	6,456

DIA	Pp (1037Q)	Pp (Lapatx)	Q (l/seg)
9/1/94	8	0,6	6,761
10/1/94	0	8,6	6,592
11/1/94	9	1,8	5,978
12/1/94	0	0,4	5,669
13/1/94	0	0,0	5,429
14/1/94	0	3,0	5,126
15/1/94	3,5	3,8	4,829
16/1/94	7,2	31,6	6,807
17/1/94	60,7	37,8	18,211
18/1/94	35	6,2	13,832
19/1/94	0	0,2	11,092
20/1/94	0	1,0	9,232
21/1/94	0	1,0	7,956
22/1/94	2,9	0,6	6,910
23/1/94	0	0,0	6,082
24/1/94	0,8	1,8	5,493
25/1/94	2,1	0,8	5,079
26/1/94	0,3	0,8	4,732
27/1/94	0	0,2	4,388
28/1/94	0	5,6	4,168
29/1/94	2,4	0,0	4,000
30/1/94	0	0,4	3,947
31/1/94	0	0,2	3,904
1/2/94	0	0,2	3,733
2/2/94	0	7,6	3,582
3/2/94	6,4	8,2	3,741
4/2/94	12,7	3,2	3,579
5/2/94	6,2	26,2	4,592
6/2/94	0	0,2	4,926
7/2/94	0	2,2	4,392
8/2/94	17	28,0	6,392
9/2/94	9,5	1,6	6,195
10/2/94	0	0,4	5,663
11/2/94	5,8	0,4	5,288
12/2/94	4,8	12,2	5,093
13/2/94	0	4,8	5,625
14/2/94	0	0,4	4,986
15/2/94	0		4,552
16/2/94	0		4,280
17/2/94	0		4,085
18/2/94	6,3		4,093
19/2/94	4,5		3,963
20/2/94	6		3,855
21/2/94	0		3,807
22/2/94	0		3,640
23/2/94	9,2		3,703
24/2/94	1,4		3,443
25/2/94	0		3,206
26/2/94	0		3,030
27/2/94	0		3,054
28/2/94	1,2		2,980
1/3/94	13,6		3,119
2/3/94	0		2,857
3/3/94	2,4		2,725
4/3/94	1		2,700
5/3/94	0		2,715
6/3/94	0		3,762
7/3/94	7,9		3,172
8/3/94	0		2,915
9/3/94	0		2,805
10/3/94	0		2,678
11/3/94	0		2,631
12/3/94	1,5		2,612
13/3/94	9,2		2,521
14/3/94	0		2,790
15/3/94	0		2,690
16/3/94	4,3		2,595
17/3/94	0		2,489
18/3/94	0		2,447
19/3/94	0		2,372
20/3/94	0		2,303
21/3/94	0		2,266
22/3/94	7,4		2,346
23/3/94	0		2,213
24/3/94	0		2,101
25/3/94	0		1,878
26/3/94	10,4		4,455
27/3/94	0		3,420
28/3/94	0		2,748
29/3/94	0		2,445
30/3/94	0		2,386
31/3/94	0		2,260
1/4/94	0		2,378
2/4/94	32,5		3,370
3/4/94	0		14,877
4/4/94	44,4		10,118
5/4/94	14,3		10,217
6/4/94	0		11,647
7/4/94	7		12,078
8/4/94	17,3		12,082
9/4/94	0		12,302
10/4/94	50		25,969
11/4/94	20,1		19,327
12/4/94	4		14,815
13/4/94	0	7,0	12,233
14/4/94	13,9	9,4	10,974
15/4/94	5,4	5,0	9,652
16/4/94	0	0,2	8,531
17/4/94	4,3	24,2	8,574
18/4/94	25,7	18,0	11,544
19/4/94	6	4,2	10,498

DIA	Pp (1037Q)	Pp (Lapatx)	Q (l/seg)
20/4/94	0,5	0,0	9,608
21/4/94	0	0,0	8,563
22/4/94	0	0,0	7,780
23/4/94	0	0,0	6,964
24/4/94	0	5,2	6,359
25/4/94	5,5	0,8	5,727
26/4/94	0	0,0	5,336
27/4/94	0	0,0	4,971
28/4/94	0	0,2	4,522
29/4/94	0	0,0	4,301
30/4/94	0	0,0	4,260
1/5/94	0	0,2	3,957
2/5/94	0	0,0	3,531
3/5/94	0	0,2	3,184
4/5/94	0	0,0	3,242
5/5/94	0	0,0	3,160
6/5/94	0	0,0	3,186
7/5/94	0	21,6	3,287
8/5/94	20	2,2	
9/5/94	15,7	11,8	3,863
10/5/94	0	0,0	3,191
11/5/94	0	6,8	2,719
12/5/94	3,5	0,0	2,470
13/5/94	0	11,0	2,584
14/5/94	6,5	2,6	2,572
15/5/94	0	0,0	2,334
16/5/94	4,2	4,8	2,314
17/5/94	1	0,2	2,278
18/5/94	2,2	6,4	2,414
19/5/94	1,1	0,2	2,263
20/5/94	0	1,0	2,121
21/5/94	0	0,0	1,980
22/5/94	0	15,4	2,476
23/5/94	13,5	3,4	2,784
24/5/94	6	7,0	2,831
25/5/94	0	0,0	2,645
26/5/94	0	0,0	2,454
27/5/94	0	0,0	2,313
28/5/94	0	0,0	2,202
29/5/94	0	0,0	2,085
30/5/94	0	0,2	1,959
31/5/94	0	0,8	1,878
1/6/94	0	11,8	1,880
2/6/94	14,7	10,8	2,555
3/6/94	0	0,0	2,039
4/6/94	0	0,0	1,893
5/6/94	1	2,2	1,858
6/6/94	0	0,2	1,826
7/6/94	0	0,0	1,681
8/6/94	0	4,4	1,701
9/6/94	3	0,4	1,735
10/6/94	0	0,0	1,709
11/6/94	0	0,0	1,657
12/6/94	0	0,0	1,640
13/6/94	0	0,0	1,558
14/6/94	0	0,0	1,563
15/6/94	0	0,2	1,465
16/6/94	0	0,0	1,451
17/6/94	0	0,2	1,434
18/6/94	26,1	17,0	1,543
19/6/94	6,9	2,0	1,513
20/6/94	1,2	0,0	1,463
21/6/94	0	0,4	1,405
22/6/94	0	0,0	1,358
23/6/94	0	0,2	1,260
24/6/94	0	8,8	1,332
25/6/94	26,7	30,0	
26/6/94	16	15,4	
27/6/94	0	0,0	
28/6/94	0	0,2	1,597
29/6/94	0	0,0	1,506
30/6/94	0	0,0	1,443
1/7/94	0	0,0	1,399
2/7/94	0	0,0	1,419
3/7/94	0	0,0	1,330
4/7/94	0	1,2	1,319
5/7/94	0,6	7,0	1,382
6/7/94	0	0,2	1,333
7/7/94	0	0,0	1,335
8/7/94	0	0,0	1,312
9/7/94	0	0,0	1,224
10/7/94	0	0,0	1,258
11/7/94	0,9	0,2	1,233
12/7/94	0	0,2	1,090
13/7/94	0	4,8	1,139
14/7/94	0	2,4	1,178
15/7/94	0	0,0	1,038
16/7/94	0	0,2	0,942
17/7/94	0	0,2	0,998
18/7/94	0	0,0	1,017
19/7/94	0	0,0	1,038
20/7/94	0	0,0	1,048
21/7/94	0	0,0	0,977
22/7/94	0	0,0	1,009
23/7/94	0	4,4	0,958
24/7/94	0	0,0	0,940
25/7/94	3,5	3,0	0,913
26/7/94	0	0,0	0,962
27/7/94	0	1,6	0,878
28/7/94	0	2,8	0,946
29/7/94	1,5	3,6	0,951

Anexo 4.2.(continuación). Series de datos de partida para el Análisis correlatorio y espectral. ACE-II. Periodo: 30-9-93 a 29-7-94.

DIA	Pp (1037Q)	Pp (Lapatx)	Q (l/seg)
20/8/94	0	0,0	0,978
21/8/94	0,5	0,6	1,028
22/8/94	0	0,2	1,030
23/8/94	0	5,8	1,085
24/8/94	2,5	0,8	1,088
25/8/94	0	0,0	1,064
26/8/94	0	2,0	1,067
27/8/94	0	0,0	1,093
28/8/94	0	0,8	1,076
29/8/94	0	1,6	1,092
30/8/94	0	0,8	1,065
31/8/94	0	0,0	0,973
1/9/94	0	0,6	0,800
2/9/94	6,5	3,6	0,838
3/9/94	0	0,2	0,805
4/9/94	6,3	11,0	0,900
5/9/94	0	0,6	0,846
6/9/94	0	0,2	0,810
7/9/94	0	14,2	1,079
8/9/94	0	4,8	1,040
9/9/94	15,1	0,0	0,858
10/9/94	1	2,2	0,802
11/9/94	0	0,0	0,753
12/9/94	0	0,8	0,800
13/9/94	0	1,0	0,824
14/9/94	0	2,6	0,869
15/9/94	8	3,2	0,885
16/9/94	7,5	8,4	1,063
17/9/94	0	17,0	1,442
18/9/94	9,7	7,0	1,296
19/9/94	0	0,2	1,042
20/9/94	6,6	15,0	1,253
21/9/94	7,5	11,8	1,557
22/9/94	12,4	10,6	1,831
23/9/94	0	26,4	2,366
24/9/94	19,7	2,4	3,180
25/9/94	0	1,2	2,048
26/9/94	0	0,2	1,790
27/9/94	18,8	33,2	2,939
28/9/94	14,5	7,0	5,647
29/9/94	0,4	9,0	2,801
30/9/94	0	0,0	2,593
1/10/94	0	0,0	2,255
2/10/94	0	0,4	2,131
3/10/94	0	2,2	2,075
4/10/94	12,5	7,0	2,126
5/10/94	6,1	0,6	2,098
6/10/94	0	0,2	1,987
7/10/94	0	0,2	1,937
8/10/94	0	0,4	1,895
9/10/94	0	0,2	1,816
10/10/94	0	0,0	1,686
11/10/94	0	0,2	1,608
12/10/94	0	0,2	1,554
13/10/94	0	0,2	1,535
14/10/94	0	0,2	1,554
15/10/94	0	23,8	2,080
16/10/94	37,7	10,2	2,503
17/10/94	4,7	2,8	2,273
18/10/94	0	0,0	2,076
19/10/94	3,7	10,4	2,234
20/10/94	0	3,4	2,189
21/10/94	0	2,2	2,131
22/10/94	6,7	10,0	2,301

DIA	Pp (1037Q)	Pp (Lapatx)	Q (l/seg)
23/10/94	3,3	0,8	2,305
24/10/94	0	0,6	2,221
25/10/94	0	0,2	2,055
26/10/94	0	0,0	1,950
27/10/94	0	16,4	2,127
28/10/94	26,4	3,2	2,607
29/10/94	0	0,2	2,248
30/10/94	0	0,2	2,090
31/10/94	0	0,0	2,025
1/11/94	0	0,2	1,919
2/11/94	0	0,0	1,870
3/11/94	0	1,8	1,846
4/11/94	0	5,8	1,869
5/11/94	7,5	10,6	2,171
6/11/94	4,6	0,4	1,997
7/11/94	0,3	0,0	1,860
8/11/94	0	0,0	1,773
9/11/94	0	1,2	1,739
10/11/94	5,8	13,2	1,978
11/11/94	6,3	3,2	2,078
12/11/94	1,4	5,8	2,049
13/11/94	3,8	3,2	2,091
14/11/94	0	0,4	2,058
15/11/94	0	0,2	2,015
16/11/94	2,2	0,2	1,950
17/11/94	12,5	15,4	2,411
18/11/94	0	0,8	2,242
19/11/94	0	0,2	2,193
20/11/94	0	0,4	2,178
21/11/94	0	0,0	2,063
22/11/94	0	0,0	2,008
23/11/94	0	0,2	1,988
24/11/94	0	0,2	1,953
25/11/94	0	0,0	1,869
26/11/94	0	0,0	1,873
27/11/94	0,2	0,0	1,814
28/11/94	0	0,0	1,820
29/11/94	0	0,0	1,780
30/11/94	0	0,0	1,731
1/12/94	0	0,2	1,738
2/12/94	0	0,0	1,690
3/12/94	0	0,0	1,666
4/12/94	0,9	0,0	1,641
5/12/94	0,2	1,2	1,593
6/12/94	0	0,0	1,514
7/12/94	3,3	4,6	1,602
8/12/94	5,6	0,2	1,502
9/12/94	9,9	4,8	1,534
10/12/94	1,8	1,6	1,471
11/12/94	0	1,8	1,508
12/12/94	0	0,0	1,472
13/12/94	1,3	0,0	1,400
14/12/94	0,5	3,0	1,442
15/12/94	0,5	1,0	1,422
16/12/94	0	1,0	1,411
17/12/94	0	0,2	1,386
18/12/94	9,3	9,6	1,562
19/12/94	21,2	11,4	1,868
20/12/94	21,4	44,0	4,593
21/12/94	66,8	67,6	9,695
22/12/94	5,6	28,6	18,818
23/12/94	0	0,4	8,501
24/12/94	0	0,0	6,602
25/12/94	0	0,0	5,777

DIA	Pp (1037Q)	Pp (Lapatx)	Q (l/seg)
26/12/94	0	0,0	5,236
27/12/94	0	0,0	4,859
28/12/94	0	0,2	4,543
29/12/94	0,2	0,0	4,260
30/12/94	7,4	1,2	4,003
31/12/94	35,9	28,4	4,969
1/1/95	11,7	27,0	8,226
2/1/95	15,4	27,8	8,233
3/1/95	0	0,0	8,621
4/1/95	3,8	2,0	7,431
5/1/95	31,7	16	7,295
6/1/95	39,6	50,5	12,169
7/1/95	4,6	14,2	15,791
8/1/95	17,4	6,9	12,700
9/1/95	6,3	23,6	14,766
10/1/95	5,2	10,4	13,350
11/1/95	51,4	37,0	14,030
12/1/95	0,2	55,6	28,320
13/1/95	0	0,0	19,410
14/1/95	0	0,2	14,812
15/1/95	0	0,0	11,952
16/1/95	0	0,0	10,285
17/1/95	26,5	0,0	9,079
18/1/95	2,1	23,6	9,915
19/1/95	6,1	0,0	8,440
20/1/95	0	6,4	7,857
21/1/95	0	0,0	7,252
22/1/95	0	0,0	6,644
23/1/95	9,7	8,4	5,936
24/1/95	0,2	0,1	4,826
25/1/95	0	0,1	4,574
26/1/95	2,9	2,4	4,295
27/1/95	0,2	0	4,195
28/1/95	0,5	0,6	3,987
29/1/95	7,1	1,4	3,822
30/1/95	0,6	5,7	3,896
31/1/95	0	0	3,679
1/2/95	3,3	0	3,539
2/2/95	0	3,9	3,525
3/2/95	0	0	3,383
4/2/95	0	0	3,260
5/2/95	0	0	3,168
6/2/95	0	0	3,078
7/2/95	0	0	3,038
8/2/95	4,9	3,9	2,948
9/2/95	6,7	0,1	2,920
10/2/95	0	5,4	3,007
11/2/95	2,1	0,1	2,843
12/2/95	2,2	1	2,764
13/2/95	0,2	1,9	2,744
14/2/95	1,4	1	2,769
15/2/95	0,8	0,7	2,669
16/2/95	0,5	0,1	2,670
17/2/95	11,7	3,9	2,956
18/2/95	0,5	3,3	2,836
19/2/95	0	0	2,725
20/2/95	0,2	0	2,595
21/2/95	31,6	27,8	3,867
22/2/95	0	4,1	4,347
23/2/95	2	0,6	3,588
24/2/95	0,8	1,6	3,397
25/2/95	31,2	19,5	3,975

Anexo 4.2.(continuación). Series de datos de partida para el análisis correlatorio y espectral. ACE-III. Periodo: 20-8-94 a 25-2-95.

DIA-HORA	Pp (1037Q)	Q (l/seg)
20/8/94 00:00	0,0	0,991
20/8/94 12:00	0,0	0,966
21/8/94 00:00	0,0	1,062
21/8/94 12:00	0,6	0,993
22/8/94 00:00	0,2	1,046
22/8/94 12:00	0,0	1,013
23/8/94 00:00	0,0	0,993
23/8/94 12:00	5,8	1,178
24/8/94 00:00	0,6	1,078
24/8/94 12:00	0,2	1,098
25/8/94 00:00	0,0	1,109
25/8/94 12:00	0,0	1,018
26/8/94 00:00	1,8	1,066
26/8/94 12:00	0,2	1,068
27/8/94 00:00	0,0	1,127
27/8/94 12:00	0,0	1,060
28/8/94 00:00	0,8	1,060
28/8/94 12:00	0,0	1,092
29/8/94 00:00	1,6	1,112
29/8/94 12:00	0,0	1,072
30/8/94 00:00	0,8	1,048
30/8/94 12:00	0,0	1,081
31/8/94 00:00	0,0	1,144
31/8/94 12:00	0,0	0,802
1/9/94 00:00	0,4	0,796
1/9/94 12:00	0,2	0,805
2/9/94 00:00	3,6	0,878
2/9/94 12:00	0,0	0,797
3/9/94 00:00	0,2	0,830
3/9/94 12:00	0,0	0,779
4/9/94 00:00	5,8	0,788
4/9/94 12:00	5,2	1,012
5/9/94 00:00	0,6	0,898
5/9/94 12:00	0,0	0,793
6/9/94 00:00	0,2	0,851
6/9/94 12:00	0,0	0,769
7/9/94 00:00	0,2	0,846
7/9/94 12:00	14,0	1,312
8/9/94 00:00	4,8	1,114
8/9/94 12:00	0,0	0,966
9/9/94 00:00	0,0	0,928
9/9/94 12:00	0,0	0,788
10/9/94 00:00	2,2	0,843
10/9/94 12:00	0,0	0,762
11/9/94 00:00	0,0	0,803
11/9/94 12:00	0,0	0,703
12/9/94 00:00	0,0	0,803
12/9/94 12:00	0,8	0,798
13/9/94 00:00	0,0	0,841
13/9/94 12:00	1,0	0,807
14/9/94 00:00	0,0	0,870
14/9/94 12:00	2,6	0,868
15/9/94 00:00	3,2	0,941
15/9/94 12:00	0,0	0,828
16/9/94 00:00	8,4	1,164
16/9/94 12:00	0,0	0,962
17/9/94 00:00	9,4	1,176
17/9/94 12:00	7,6	1,708
18/9/94 00:00	7,0	1,416
18/9/94 12:00	0,0	1,176
19/9/94 00:00	0,2	1,092
19/9/94 12:00	0,0	0,992
20/9/94 00:00	7,4	1,141
20/9/94 12:00	7,6	1,365
21/9/94 00:00	7,2	1,697
21/9/94 12:00	4,6	1,418
22/9/94 00:00	10,4	1,821
22/9/94 12:00	0,2	1,842
23/9/94 00:00	3,4	1,579
23/9/94 12:00	23,0	3,153
24/9/94 00:00	2,4	3,781
24/9/94 12:00	0,0	2,580
25/9/94 00:00	0,0	2,132
25/9/94 12:00	1,2	1,964
26/9/94 00:00	0,2	1,861
26/9/94 12:00	0,0	1,720
27/9/94 00:00	12,8	2,178
27/9/94 12:00	20,4	3,699
28/9/94 00:00	7,0	4,768
28/9/94 12:00	0,0	2,976
29/9/94 00:00	0,6	2,665
29/9/94 12:00	8,4	2,767
30/9/94 00:00	0,0	2,701
30/9/94 12:00	0,0	2,485
1/10/94 00:00	0,0	2,308
1/10/94 12:00	0,0	2,202
2/10/94 00:00	0,0	2,183
2/10/94 12:00	0,4	2,080
3/10/94 00:00	1,2	2,132
3/10/94 12:00	1,0	2,018
4/10/94 00:00	2,4	2,057
4/10/94 12:00	4,6	2,195
5/10/94 00:00	0,6	2,151
5/10/94 12:00	0,0	2,045
6/10/94 00:00	0,2	1,994
6/10/94 12:00	0,0	1,980
7/10/94 00:00	0,2	1,955
7/10/94 12:00	0,0	1,918
8/10/94 00:00	0,4	1,923
8/10/94 12:00	0,0	1,867
9/10/94 00:00	0,2	1,887
9/10/94 12:00	0,0	1,746
10/10/94 00:00	0,0	1,752
10/10/94 12:00	0,0	1,621
11/10/94 00:00	0,2	1,672
11/10/94 12:00	0,0	1,544
12/10/94 00:00	0,2	1,603
12/10/94 12:00	0,0	1,505
13/10/94 00:00	0,0	1,584
13/10/94 12:00	0,2	1,487
14/10/94 00:00	0,2	1,593
14/10/94 12:00	0,0	1,514
15/10/94 00:00	2,0	1,546
15/10/94 12:00	21,8	2,613
16/10/94 00:00	6,4	2,645
16/10/94 12:00	3,8	2,361
17/10/94 00:00	2,8	2,345
17/10/94 12:00	0,0	2,201
18/10/94 00:00	0,0	2,153
18/10/94 12:00	0,0	2,000
19/10/94 00:00	4,0	2,126
19/10/94 12:00	6,4	2,342
20/10/94 00:00	0,0	2,182
20/10/94 12:00	3,4	2,196
21/10/94 00:00	1,0	2,157
21/10/94 12:00	1,2	2,105
22/10/94 00:00	1,6	2,076

DIA-HORA	Pp (1037Q)	Q (l/seg)
22/10/94 12:00	8,4	2,526
23/10/94 00:00	0,2	2,328
23/10/94 12:00	0,6	2,283
24/10/94 00:00	0,2	2,254
24/10/94 12:00	0,4	2,188
25/10/94 00:00	0,2	2,148
25/10/94 12:00	0,0	1,963
26/10/94 00:00	0,0	1,981
26/10/94 12:00	0,0	1,919
27/10/94 00:00	0,2	1,888
27/10/94 12:00	16,2	2,966
28/10/94 00:00	3,2	2,798
28/10/94 12:00	0,0	2,415
29/10/94 00:00	0,2	2,297
29/10/94 12:00	0,0	2,200
30/10/94 00:00	0,2	2,124
30/10/94 12:00	0,0	2,056
31/10/94 00:00	0,0	2,092
31/10/94 12:00	0,0	1,958
1/11/94 00:00	0,2	1,966
1/11/94 12:00	0,0	1,873
2/11/94 00:00	0,0	1,913
2/11/94 12:00	0,0	1,827
3/11/94 00:00	0,0	1,851
3/11/94 12:00	1,8	1,841
4/11/94 00:00	2,4	1,842
4/11/94 12:00	3,4	1,896
5/11/94 00:00	5,2	1,964
5/11/94 12:00	5,4	2,378
6/11/94 00:00	0,4	2,063
6/11/94 12:00	0,0	1,931
7/11/94 00:00	0,0	1,893
7/11/94 12:00	0,0	1,828
8/11/94 00:00	0,0	1,816
8/11/94 12:00	0,0	1,731
9/11/94 00:00	0,0	1,748
9/11/94 12:00	1,2	1,730
10/11/94 00:00	6,0	1,905
10/11/94 12:00	7,2	2,051
11/11/94 00:00	3,2	2,143
11/11/94 12:00	0,0	2,013
12/11/94 00:00	3,0	2,023
12/11/94 12:00	2,8	2,075
13/11/94 00:00	3,2	2,134
13/11/94 12:00	0,0	2,048
14/11/94 00:00	0,2	2,057
14/11/94 12:00	0,2	2,059
15/11/94 00:00	0,2	2,018
15/11/94 12:00	0,0	2,011
16/11/94 00:00	0,2	1,977
16/11/94 12:00	0,0	1,923
17/11/94 00:00	11,4	2,380
17/11/94 12:00	4,0	2,442
18/11/94 00:00	0,8	2,303
18/11/94 12:00	0,0	2,182
19/11/94 00:00	0,2	2,186
19/11/94 12:00	0,0	2,200
20/11/94 00:00	0,4	2,245
20/11/94 12:00	0,0	2,112
21/11/94 00:00	0,0	2,079
21/11/94 12:00	0,0	2,047
22/11/94 00:00	0,0	2,010
22/11/94 12:00	0,0	2,007
23/11/94 00:00	0,0	2,007
23/11/94 12:00	0,2	1,969
24/11/94 00:00	0,2	1,973
24/11/94 12:00	0,0	1,933
25/11/94 00:00	0,0	1,879
25/11/94 12:00	0,0	1,858
26/11/94 00:00	0,0	1,858
26/11/94 12:00	0,0	1,889
27/11/94 00:00	0,0	1,828
27/11/94 12:00	0,0	1,800
28/11/94 00:00	0,0	1,791
28/11/94 12:00	0,0	1,848
29/11/94 00:00	0,0	1,808
29/11/94 12:00	0,0	1,753
30/11/94 00:00	0,0	1,742
30/11/94 12:00	0,0	1,721
1/12/94 00:00	0,2	1,747
1/12/94 12:00	0,0	1,729
2/12/94 00:00	0,0	1,690
2/12/94 12:00	0,0	1,691
3/12/94 00:00	0,0	1,659
3/12/94 12:00	0,0	1,673
4/12/94 00:00	0,0	1,689
4/12/94 12:00	0,0	1,594
5/12/94 00:00	1,2	1,665
5/12/94 12:00	0,0	1,521
6/12/94 00:00	0,0	1,510
6/12/94 12:00	0,0	1,518
7/12/94 00:00	2,4	1,612
7/12/94 12:00	2,2	1,591
8/12/94 00:00	0,2	1,520
8/12/94 12:00	0,0	1,484
9/12/94 00:00	0,0	1,473
9/12/94 12:00	4,8	1,595
10/12/94 00:00	0,0	1,484
10/12/94 12:00	1,6	1,459
11/12/94 00:00	1,8	1,527
11/12/94 12:00	0,0	1,489
12/12/94 00:00	0,0	1,489
12/12/94 12:00	0,0	1,454
13/12/94 00:00	0,0	1,406
13/12/94 12:00	0,0	1,394
14/12/94 00:00	3,0	1,442
14/12/94 12:00	0,0	1,443
15/12/94 00:00	0,4	1,392
15/12/94 12:00	0,6	1,452
16/12/94 00:00	0,8	1,395
16/12/94 12:00	0,2	1,427
17/12/94 00:00	0,2	1,341
17/12/94 12:00	0,0	1,391
18/12/94 00:00	0,0	1,424
18/12/94 12:00	9,6	1,700
19/12/94 00:00	2,6	1,800
19/12/94 12:00	8,8	1,936
20/12/94 00:00	27,8	4,134
20/12/94 12:00	16,2	5,053
21/12/94 00:00	19,6	5,639
21/12/94 12:00	48,0	12,644
22/12/94 00:00	25,8	25,624
22/12/94 12:00	2,8	12,013
23/12/94 00:00	0,4	9,262
23/12/94 12:00	0,0	7,740
24/12/94 00:00	0,0	6,884
24/12/94 12:00	0,0	6,321

DIA-HORA	Pp (1037Q)	Q (l/seg)
25/12/94 00:00	0,0	5,934
25/12/94 12:00	0,0	5,620
26/12/94 00:00	0,0	5,403
26/12/94 12:00	0,0	5,069
27/12/94 00:00	0,0	4,954
27/12/94 12:00	0,0	4,764
28/12/94 00:00	0,2	4,630
28/12/94 12:00	0,0	4,456
29/12/94 00:00	0,0	4,374
29/12/94 12:00	0,0	4,146
30/12/94 00:00	0,0	3,993
30/12/94 12:00	1,2	4,013
31/12/94 00:00	10,2	4,423
31/12/94 12:00	18,2	5,516
1/1/95 00:00	24,0	8,299
1/1/95 12:00	3,0	8,152
2/1/95 00:00	7,8	7,226
2/1/95 12:00	20,0	9,239
3/1/95 00:00	0,0	8,961
3/1/95 12:00	0,0	8,281
4/1/95 00:00	0,0	7,647
4/1/95 12:00	0,0	7,215
5/1/95 00:00	6,1	6,804
5/1/95 12:00	9,9	7,785
6/1/95 00:00	20,9	9,972
6/1/95 12:00	29,6	14,365
7/1/95 00:00	13,4	16,589
7/1/95 12:00	0,8	14,993
8/1/95 00:00	0,0	13,318
8/1/95 12:00	7,6	12,082
9/1/95 00:00	21,0	15,180
9/1/95 12:00	2,6	14,351
10/1/95 00:00	4,8	13,593
10/1/95 12:00	5,6	13,108
11/1/95 00:00	1,8	12,393
11/1/95 12:00	35,2	15,668
12/1/95 00:00	55,6	32,466
12/1/95 12:00	0,0	24,179
13/1/95 00:00	0,0	20,740
13/1/95 12:00	0,0	18,079
14/1/95 00:00	0,0	15,720
14/1/95 12:00	0,2	13,904
15/1/95 00:00	0,0	12,465
15/1/95 12:00	0,0	11,439
16/1/95 00:00	0,0	10,630
16/1/95 12:00	0,0	9,940
17/1/95 00:00	0,0	9,358
17/1/95 12:00	0,0	8,800
18/1/95 00:00	21,2	10,284
18/1/95 12:00	2,4	9,546
19/1/95 00:00	0,0	8,739
19/1/95 12:00	0,0	8,141
20/1/95 00:00	6,4	8,029
20/1/95 12:00	0,0	7,684
21/1/95 00:00	0,0	7,463
21/1/95 12:00	0,0	7,041
22/1/95 00:00	0,0	6,773
22/1/95 12:00	0,0	6,515
23/1/95 00:00	0,0	6,351
23/1/95 12:00	8,4	5,522
24/1/95 00:00	0,1	4,973
24/1/95 12:00	0,0	4,678
25/1/95 00:00	0,1	4,704
25/1/95 12:00	0,0	4,444
26/1/95 00:00	0,0	4,325
26/1/95 12:00	2,4	4,265
27/1/95 00:00	0,0	4,281
27/1/95 12:00	0,0	4,108
28/1/95 00:00	0,6	4,033
28/1/95 12:00	0,0	3,941
29/1/95 00:00	0,5	3,934
29/1/95 12:00	0,9	3,711
30/1/95 00:00	5,6	3,993
30/1/95 12:00	0,1	3,798
31/1/95 00:00	0,0	3,758
31/1/95 12:00	0,0	3,600
1/2/95 00:00	0,0	3,635
1/2/95 12:00	0,0	3,443
2/2/95 00:00	3,9	3,611
2/2/95 12:00	0,0	3,438
3/2/95 00:00	0,0	3,438
3/2/95 12:00	0,0	3,328
4/2/95 00:00	0,0	3,328
4/2/95 12:00	0,0	3,191
5/2/95 00:00	0,0	3,217
5/2/95 12:00	0,0	3,120
6/2/95 00:00	0,0	3,103
6/2/95 12:00	0,0	3,053
7/2/95 00:00	0,0	3,063
7/2/95 12:00	0,0	3,013
8/2/95 00:00	0,0	2,943
8/2/95 12:00	3,9	2,953
9/2/95 00:00	0,1	2,975
9/2/95 12:00	0,0	2,865
10/2/95 00:00	5,4	3,057
10/2/95 12:00	0,0	2,957
11/2/95 00:00	0,0	2,904
11/2/95 12:00	0,1	2,781
12/2/95 00:00	1,0	2,845
12/2/95 12:00	0,0	2,683
13/2/95 00:00	1,5	2,792
13/2/95 12:00	0,4	2,697
14/2/95 00:00	0,3	2,787
14/2/95 12:00	0,7	2,752
15/2/95 00:00	0,1	2,755
15/2/95 12:00	0,6	2,583
16/2/95 00:00	0,1	2,673
16/2/95 12:00	0,0	2,667
17/2/95 00:00	3,4	2,683
17/2/95 12:00	7,5	3,230
18/2/95 00:00	3,2	2,878
18/2/95 12:00	0,1	2,794
19/2/95 00:00	0,0	2,760
19/2/95 12:00	0,0	2,691
20/2/95 00:00	0,0	2,730
20/2/95 12:00	0,0	2,461
21/2/95 00:00	4,8	2,538
21/2/95 12:00	23,0	5,196
22/2/95 00:00	4,1	4,716
22/2/95 12:00	0,0	3,978
23/2/95 00:00	0,0	3,695
23/2/95 12:00	0,6	3,481
24/2/95 00:00	1,2	3,541
24/2/95 12:00	0,4	3,253
25/2/95 00:00	0,0	3,328
25/2/95 12:00	19,5	4,623

Anexo 4.2.(continuación). Series de datos de partida para el Análisis correlatorio y espectral. ACE-IV
Período: 20-8-94 a 25-2-95 Datos cada 12 horas.

DIA	Pp (litros/m²)	Q (l/seg)
1/9/93	0,0	0,090
2/9/93	0,0	0,290
3/9/93	0,0	0,110
4/9/93	0,0	0,190
5/9/93	0,0	0,090
6/9/93	0,6	0,140
7/9/93	3,0	0,170
8/9/93	0,0	0,360
9/9/93	1,6	0,460
10/9/93	0,2	0,400
11/9/93	0,0	0,410
12/9/93	0,0	0,120
13/9/93	0,0	0,460
14/9/93	0,0	0,250
15/9/93	0,0	0,460
16/9/93	1,6	0,460
17/9/93	5,3	0,810
18/9/93	3,8	1,390
19/9/93	0,0	0,140
20/9/93	5,6	0,240
21/9/93	17,8	3,380
22/9/93	13,0	6,380
23/9/93	23,8	3,190
24/9/93	24,1	7,670
25/9/93	1,8	1,140
26/9/93	3,3	0,890
27/9/93	0,1	0,620
28/9/93	0,0	0,390
29/9/93	3,2	0,500
30/9/93	0,7	0,340
1/10/93	0,2	0,200
2/10/93	3,4	0,490
3/10/93	16,5	3,530
4/10/93	0,0	0,380
5/10/93	0,6	0,590
6/10/93	1,3	0,477
7/10/93	1,9	0,447
8/10/93	0,3	0,388
9/10/93	4,5	0,634
10/10/93	1,0	0,257
11/10/93	16,4	3,487
12/10/93	1,4	0,769
13/10/93	11,1	2,736
14/10/93	0,1	0,807
15/10/93	1,1	0,362
16/10/93	1,4	0,408
17/10/93	0,0	0,178
18/10/93	0,0	0,319
19/10/93	0,0	0,203
20/10/93	1,3	0,153
21/10/93	3,6	0,343
22/10/93	3,4	2,760
23/10/93	0,2	0,202
24/10/93	0,0	0,118
25/10/93	0,0	0,203
26/10/93	0,0	0,177
27/10/93	2,2	0,271
28/10/93	18,1	3,359
29/10/93	0,0	0,712
30/10/93	0,0	0,457
31/10/93	0,1	0,208
1/11/93	0,0	0,241
2/11/93	1,5	0,477
3/11/93	0,6	0,305
4/11/93	0,0	0,262
5/11/93	1,5	0,303
6/11/93	8,7	0,995
7/11/93	0,1	0,681
8/11/93	0,0	0,460
9/11/93	1,2	0,325
10/11/93	0,9	0,279
11/11/93	0,0	0,419
12/11/93	0,0	0,230
13/11/93	0,0	0,321
14/11/93	0,0	0,122
15/11/93	0,0	0,243
16/11/93	0,0	0,317
17/11/93	0,0	0,356
18/11/93	0,0	0,227
19/11/93	0,0	0,275
20/11/93	0,0	0,286
21/11/93	0,0	0,150
22/11/93	0,0	0,320
23/11/93	0,5	0,214
24/11/93	0,0	0,188
25/11/93	0,1	0,246
26/11/93	0,0	0,173
27/11/93	0,0	0,191
28/11/93	0,0	0,137
29/11/93	0,0	0,326
30/11/93	11,5	1,120
1/12/93	11,7	4,201
2/12/93	0,0	1,620
3/12/93	0,1	0,232
4/12/93	0,0	0,239
5/12/93	0,0	0,168
6/12/93	0,0	0,259
7/12/93	0,0	0,387
8/12/93	0,0	0,141
9/12/93	0,0	0,184
10/12/93	0,0	0,185
11/12/93	0,0	0,230
12/12/93	0,0	0,135
13/12/93	4,6	0,466
14/12/93	1,1	0,361
15/12/93	0,0	0,226
16/12/93	0,3	0,161
17/12/93	0,0	0,182
18/12/93	0,0	0,269
19/12/93	0,0	0,122
20/12/93	0,0	0,162
21/12/93	7,1	0,723
22/12/93	0,1	0,490
23/12/93	0,0	1,476
24/12/93	17,5	3,073
25/12/93	51,7	23,681
26/12/93	16,1	13,149
27/12/93	8,8	8,805
28/12/93	7,2	7,328
29/12/93	5,7	6,156
30/12/93	0,4	5,788
31/12/93	4,0	6,323

DIA	Pp (litros/m²)	Q (l/seg)
1/1/94	0,0	6,144
2/1/94	0,0	5,330
3/1/94	1,0	4,735
4/1/94	0,0	3,991
5/1/94	7,0	3,799
6/1/94	6,0	5,890
7/1/94	5,0	5,404
8/1/94	7,0	6,077
9/1/94	4,0	5,111
10/1/94	5,0	6,384
11/1/94	0,0	6,126
12/1/94	0,0	4,681
13/1/94	0,0	4,187
14/1/94	0,0	3,751
15/1/94	1,0	3,415
16/1/94	11,0	4,924
17/1/94	0,0	5,716
18/1/94	0,0	3,846
19/1/94	0,0	2,956
20/1/94	0,0	3,465
21/1/94	0,0	3,093
22/1/94	0,0	2,842
23/1/94	0,0	2,554
24/1/94	0,0	3,245
25/1/94	0,0	2,996
26/1/94	0,0	2,550
27/1/94	0,0	3,279
28/1/94	0,0	1,552
29/1/94	0,0	0,467
30/1/94	0,0	0,180
31/1/94	0,0	0,217
1/2/94	0,0	0,367
2/2/94	0,2	0,553
3/2/94	4,2	0,520
4/2/94	5,6	1,687
5/2/94	9,2	2,414
6/2/94	0,4	0,839
7/2/94	1,0	0,490
8/2/94	9,6	2,757
9/2/94	1,0	1,616
10/2/94	0,0	0,661
11/2/94	0,0	0,437
12/2/94	3,0	0,620
13/2/94	0,0	0,371
14/2/94	0,0	0,358
15/2/94	1,0	0,401
16/2/94	0,0	0,440
17/2/94	0,0	0,374
18/2/94	9,2	1,569
19/2/94	0,2	0,565
20/2/94	4,6	1,139
21/2/94	0,4	0,513
22/2/94	0,0	0,442
23/2/94	0,6	0,366
24/2/94	0,0	0,333
25/2/94	0,0	0,232
26/2/94	0,0	0,296
27/2/94	0,0	0,178
28/2/94	3,6	0,473
1/3/94	0,0	0,340
2/3/94	0,0	0,362
3/3/94	0,0	0,305
4/3/94	0,0	0,407
5/3/94	2,4	0,392
6/3/94	0,2	0,204
7/3/94	0,0	0,305
8/3/94	0,0	0,511
9/3/94	0,0	0,269
10/3/94	0,0	0,441
11/3/94	0,0	0,390
12/3/94	0,0	0,229
13/3/94	0,6	0,134
14/3/94	0,2	0,247
15/3/94	0,0	0,368
16/3/94	0,0	0,174
17/3/94	0,0	0,466
18/3/94	0,0	0,204
19/3/94	0,0	0,309
20/3/94	0,0	0,174
21/3/94	0,0	0,265
22/3/94	1,4	0,294
23/3/94	0,0	1,170
24/3/94	0,0	0,236
25/3/94	0,0	0,212
26/3/94	5,0	0,423
27/3/94	0,0	0,122
28/3/94	0,0	0,293
29/3/94	0,0	0,195
30/3/94	0,0	0,323
31/3/94	0,2	0,998
1/4/94	1,4	3,235
2/4/94	6,8	2,465
3/4/94	34,6	4,604
4/4/94	2,6	1,378
5/4/94	8,2	1,693
6/4/94	2,6	1,241
7/4/94	8,6	1,617
8/4/94	4,6	2,494
9/4/94	5,8	1,172
10/4/94	23,0	3,508
11/4/94	13,0	5,000
12/4/94	0,0	1,942
13/4/94	0,0	0,722
14/4/94	0,2	0,492
15/4/94	0,0	0,314
16/4/94	0,0	0,242
17/4/94	0,0	0,261
18/4/94	0,0	0,275
19/4/94	0,6	0,478
20/4/94	0,0	0,642
21/4/94	0,0	0,419
22/4/94	0,8	0,158
23/4/94	0,6	0,261
24/4/94	13,8	0,361
25/4/94	0,4	4,372
26/4/94	0,0	0,139
27/4/94	0,0	0,342
28/4/94	0,0	0,269
29/4/94	0,0	0,178
30/4/94	0,0	0,094
1/5/94	0,0	0,142
2/5/94	0,0	0,064

DIA	Pp (litros/m²)	Q (l/seg)
3/5/94	2,0	0,297
4/5/94	0,0	0,244
5/5/94	0,0	0,256
6/5/94	0,0	0,314
7/5/94	19,4	0,150
8/5/94	0,4	5,058
9/5/94	0,0	5,500
10/5/94	0,0	0,306
11/5/94	0,6	0,189
12/5/94	0,0	0,269
13/5/94	17,4	0,189
14/5/94	0,0	0,908
15/5/94	5,4	0,122
16/5/94	13,2	1,350
17/5/94	1,4	0,539
18/5/94	0,6	0,331
19/5/94	0,2	0,239
20/5/94	0,0	0,231
21/5/94	3,2	0,272
22/5/94	5,0	0,256
23/5/94	0,0	0,231
24/5/94	0,0	0,153
25/5/94	0,0	0,425
26/5/94	0,8	0,236
27/5/94	0,0	0,214
28/5/94	0,0	0,150
29/5/94	0,0	0,083
30/5/94	0,0	0,092
31/5/94	0,0	0,175
1/6/94	11,8	0,125
2/6/94	5,4	2,508
3/6/94	0,0	0,086
4/6/94	0,0	0,136
5/6/94	0,0	0,089
6/6/94	0,0	0,050
7/6/94	0,0	0,106
8/6/94	0,0	0,144
9/6/94	0,0	0,092
10/6/94	0,0	0,236
11/6/94	0,0	0,347
12/6/94	0,0	0,825
13/6/94	0,0	0,519
14/6/94	0,0	0,214
15/6/94	0,0	0,211
16/6/94	0,0	0,194
17/6/94	0,0	0,150
18/6/94	1,6	0,136
19/6/94	0,0	0,169
20/6/94	0,0	0,111
21/6/94	0,0	0,219
22/6/94	0,0	0,142
23/6/94	0,0	0,253
24/6/94	3,6	0,214
25/6/94	12,2	1,828
26/6/94	7,2	1,047
27/6/94	0,0	0,386
28/6/94	0,0	0,133
29/6/94	0,0	0,111
30/6/94	0,0	0,142
1/7/94	0,0	0,144
2/7/94	0,0	0,228
3/7/94	0,0	0,256
4/7/94	0,0	0,228
5/7/94	0,0	0,092
6/7/94	0,0	0,172
7/7/94	0,0	0,189
8/7/94	0,0	0,156
9/7/94	0,0	0,597
10/7/94	0,0	0,408
11/7/94	0,0	0,319
12/7/94	0,0	0,281
13/7/94	0,0	0,150
14/7/94	0,0	0,169
15/7/94	0,4	0,372
16/7/94	0,2	0,436
17/7/94	0,0	0,453
18/7/94	0,0	0,300
19/7/94	0,0	0,203
20/7/94	0,0	0,156
21/7/94	0,0	0,219
22/7/94	0,0	0,397
23/7/94	2,0	0,656
24/7/94	0,0	0,633
25/7/94	0,0	0,467
26/7/94	0,0	0,569
27/7/94	11,8	0,919
28/7/94	0,4	0,500
29/7/94	13,8	1,000
30/7/94	8,2	0,650
31/7/94	0,2	0,286
1/8/94	0,0	0,325
2/8/94	0,0	0,114
3/8/94	0,0	0,114
4/8/94	0,0	0,200
5/8/94	0,0	0,275
6/8/94	0,0	0,383
7/8/94	0,0	0,497
8/8/94	0,0	0,414
9/8/94	0,0	0,244
10/8/94	0,0	0,325
11/8/94	0,0	0,375
12/8/94	0,0	0,414
13/8/94	0,0	0,653
14/8/94	0,0	0,631
15/8/94	0,0	0,436
16/8/94	0,0	0,275
17/8/94	0,0	0,172
18/8/94	0,0	0,122
19/8/94	0,0	0,147
20/8/94	0,0	0,125
21/8/94	0,0	0,056
22/8/94	0,0	0,036
23/8/94	0,0	0,100
24/8/94	0,0	0,181
25/8/94	0,0	0,161
26/8/94	0,0	0,200
27/8/94	0,0	0,211
28/8/94	0,0	0,153
29/8/94	0,0	0,136
30/8/94	0,0	0,169
31/8/94	0,0	0,150

Anexo 4.2.(continuación). Series de datos de partida para el Análisis correlatorio y espectral.
ACE-Góngora. Periodo: 1-9-93 a 31-8-94.

Periodo: 30-7-91 a 26-3-92
Duración: 241 días; Paso: 1; Truncamiento: 80; Filtro: Tukey
Precipitación: Azkoitia (1037Q). Media: 4,10; Varianza: 114,47
Caudal lixiviados: Media: 3,65; Varianza: 24,52

k	f	r(P)	Sf(P)	r(Q)	Sf(Q)	Sxy	Fxy	Cxy	Gxy	k	r(k)	k	r(k)
0	0	1	3,971	1	26,212	6,751	0	0,662	1,7	-80	-0,096	1	0,645
1	0,006	0,362	4,416	0,806	24,662	8,985	0,671	0,861	2,034	-79	-0,103	2	0,516
2	0,013	0,147	5,029	0,587	17,568	7,981	0,532	0,849	1,587	-78	-0,099	3	0,317
3	0,019	0,113	5,51	0,488	12,799	7,477	0,381	0,89	1,357	-77	-0,1	4	0,24
4	0,025	0,046	5,456	0,476	11,683	7,032	0,495	0,881	1,289	-76	-0,105	5	0,228
5	0,031	0,078	4,693	0,459	8,118	5,26	0,555	0,852	1,121	-75	-0,1	6	0,236
6	0,038	0,029	4,266	0,387	6,086	4,447	0,476	0,873	1,043	-74	-0,1	7	0,192
7	0,044	-0,049	3,806	0,319	4,565	3,401	0,484	0,816	0,894	-73	-0,099	8	0,13
8	0,05	-0,028	3,696	0,273	3,214	2,589	0,552	0,751	0,7	-72	-0,118	9	0,086
9	0,056	0,003	4,555	0,246	3,62	3,538	0,714	0,871	0,777	-71	-0,118	10	0,083
10	0,063	0,024	4,02	0,245	3,467	3,401	0,748	0,911	0,846	-70	-0,097	11	0,121
11	0,069	0,078	3,051	0,23	3,01	2,656	0,7	0,877	0,871	-69	-0,094	12	0,119
12	0,075	-0,046	4,133	0,188	3,527	3,407	0,786	0,892	0,824	-68	-0,068	13	0,06
13	0,081	-0,065	3,724	0,168	2,529	2,565	0,864	0,836	0,689	-67	-0,058	14	0,041
14	0,087	0,032	2,391	0,169	1,167	1,227	0,972	0,735	0,513	-66	-0,081	15	0,08
15	0,094	0,004	3,377	0,166	1,627	2,032	0,966	0,867	0,602	-65	-0,079	16	0,11
16	0,1	-0,013	3,167	0,134	1,767	2,057	0,998	0,869	0,649	-64	-0,078	17	0,091
17	0,106	0,005	2,214	0,101	1,114	1,272	0,803	0,81	0,575	-63	-0,01	18	0,056
18	0,112	-0,022	2,713	0,078	1,295	1,736	0,607	0,926	0,64	-62	0,023	19	0,045
19	0,119	-0,018	2,567	0,071	1,509	1,841	0,679	0,935	0,717	-61	-0,047	20	0,033
20	0,125	-0,012	2,295	0,06	1,304	1,551	0,945	0,897	0,676	-60	-0,079	21	0,013
21	0,131	-0,058	2,145	0,05	1,483	1,583	1,283	0,887	0,738	-59	-0,1	22	-0,004
22	0,138	-0,024	1,658	0,044	1,485	1,252	1,193	0,798	0,755	-58	-0,118	23	-0,007
23	0,144	0,013	1,581	0,043	1,159	1,063	0,805	0,785	0,672	-57	-0,118	24	0,057
24	0,15	-0,023	1,54	0,054	1,362	1,181	1,179	0,815	0,767	-56	-0,108	25	0,024
25	0,156	-0,034	1,334	0,059	1,479	1,275	1,366	0,908	0,956	-55	-0,091	26	0,015
26	0,162	-0,025	1,127	0,064	1,121	1,004	1,047	0,893	0,891	-54	-0,097	27	0,022
27	0,169	-0,028	2,362	0,067	1,46	1,709	1,052	0,921	0,724	-53	-0,108	28	0,042
28	0,175	-0,012	3,357	0,064	1,694	2,233	1,14	0,937	0,665	-52	-0,064	29	0,02
29	0,181	-0,011	1,942	0,065	1,131	1,288	1,196	0,869	0,663	-51	0,054	30	0,019
30	0,188	0,005	1,863	0,072	1,508	1,541	1,341	0,919	0,827	-50	0,083	31	0,022
31	0,194	-0,009	3,307	0,068	2,234	2,639	1,336	0,971	0,798	-49	0,011	32	0,039
32	0,2	-0,027	3,107	0,058	1,606	2,017	1,338	0,903	0,649	-48	-0,066	33	0,062
33	0,206	-0,019	2,118	0,043	1,004	1,054	1,189	0,723	0,498	-47	-0,079	34	0,068
34	0,213	0,042	2,418	0,032	1,317	1,407	1,215	0,789	0,582	-46	-0,039	35	0,036
35	0,219	-0,017	2,54	0,037	1,125	1,422	1,463	0,841	0,56	-45	-0,054	36	0,032
36	0,225	0,038	1,357	0,054	0,62	0,568	-1,061	0,619	0,419	-44	-0,058	37	0,067
37	0,231	-0,007	0,902	0,054	0,603	0,254	-0,204	0,345	0,282	-43	-0,093	38	0,052
38	0,237	-0,029	0,993	0,037	0,517	0,173	0,751	0,242	0,175	-42	-0,096	39	0,025
39	0,244	-0,008	0,722	0,038	0,488	0,331	0,935	0,557	0,458	-41	-0,072	40	0,027
40	0,25	0,052	0,993	0,061	0,696	0,655	1,501	0,788	0,66	-40	-0,028	41	0,133
41	0,256	0,072	1,299	0,072	0,572	0,62	1,558	0,719	0,477	-39	-0,049	42	0,173
42	0,262	0	1,448	0,039	0,436	0,482	1,529	0,606	0,333	-38	-0,076	43	0,065
43	0,269	-0,08	1,93	0	0,658	0,902	-1,541	0,8	0,467	-37	-0,081	44	0,019
44	0,275	-0,068	1,698	-0,007	0,6	0,789	-1,35	0,782	0,465	-36	-0,04	45	0,009
45	0,281	-0,015	1,127	-0,005	0,298	0,207	-1,285	0,357	0,183	-35	-0,029	46	0,035
46	0,287	0,006	1,32	0,01	0,334	0,324	1,093	0,489	0,246	-34	-0,047	47	0,074
47	0,294	0,005	1,702	0,012	0,387	0,561	1,474	0,69	0,329	-33	-0,066	48	0,069
48	0,3	-0,059	1,428	-0,018	0,21	0,385	-1,544	0,703	0,269	-32	-0,07	49	0,026
49	0,306	-0,057	1,03	-0,024	0,157	0,115	-1,516	0,287	0,112	-31	-0,07	50	0,011
50	0,313	0,043	0,768	0,006	0,161	0,068	0,058	0,195	0,089	-30	-0,033	51	0,068
51	0,319	0,141	0,543	0,089	0,098	0,042	1,154	0,182	0,077	-29	-0,007	52	0,186
52	0,325	0,136	0,753	0,089	0,149	0,026	-1,164	0,078	0,035	-28	-0,029	53	0,211
53	0,331	0,022	0,934	-0,013	0,188	0,105	-1,172	0,251	0,112	-27	-0,027	54	0,112
54	0,338	-0,012	1,175	-0,066	0,129	0,127	-1,454	0,326	0,108	-26	-0,048	55	0,099
55	0,344	0,013	1,693	-0,086	0,154	0,266	-0,709	0,521	0,157	-25	-0,051	56	0,092
56	0,35	-0,042	2,122	-0,096	0,166	0,393	-0,257	0,663	0,185	-24	-0,055	57	0,02
57	0,356	-0,089	2,389	-0,113	0,131	0,298	-0,302	0,532	0,125	-23	-0,063	58	-0,024
58	0,363	-0,09	2,12	-0,131	0,22	0,422	-1,093	0,618	0,199	-22	-0,086	59	-0,044
59	0,369	-0,077	1,404	-0,141	0,268	0,444	-1,246	0,723	0,316	-21	-0,086	60	-0,055
60	0,375	-0,072	1,114	-0,142	0,179	0,264	-1,428	0,591	0,237	-20	-0,087	61	-0,049
61	0,381	-0,018	1,255	-0,133	0,185	0,335	1,443	0,695	0,267	-19	-0,069	62	-0,021
62	0,387	0,043	1,202	-0,131	0,237	0,344	1,553	0,644	0,286	-18	-0,061	63	-0,002
63	0,394	0,067	0,894	-0,122	0,161	0,194	-1,401	0,51	0,216	-17	-0,074	64	0,01
64	0,4	0,093	0,743	-0,119	0,137	0,06	0,492	0,188	0,081	-16	-0,069	65	-0,018
65	0,406	-0,049	0,906	-0,12	0,219	0,167	-0,324	0,375	0,185	-15	-0,045	66	-0,024
66	0,412	-0,053	0,966	-0,125	0,179	0,201	-0,35	0,484	0,208	-14	-0,034	67	-0,035
67	0,419	-0,057	0,961	-0,129	0,113	0,132	-0,955	0,4	0,137	-13	-0,043	68	-0,034
68	0,425	0,014	0,861	-0,125	0,149	0,095	1,316	0,265	0,11	-12	-0,058	69	-0,013
69	0,431	-0,009	0,808	-0,119	0,125	0,067	1,334	0,21	0,082	-11	-0,06	70	0,02
70	0,438	0,021	1,154	-0,124	0,084	0,141	0,469	0,454	0,122	-10	0,052	71	0,041
71	0,444	-0,012	1,213	-0,135	0,118	0,259	0,412	0,685	0,213	-9	-0,004	72	0,015
72	0,45	-0,057	0,936	-0,151	0,127	0,209	0,871	0,607	0,224	-8	-0,013	73	-0,013
73	0,456	-0,021	0,737	-0,156	0,127	0,111	0,798	0,362	0,15	-7	-0,018	74	-0,006
74	0,463	0,059	0,802	-0,155	0,154	0,175	-0,802	0,497	0,218	-6	-0,014	75	0,058
75	0,469	0,023	1,079	-0,153	0,147	0,286	-1,306	0,718	0,265	-5	0,052	76	0,077
76	0,475	-0,01	0,858	-0,158	0,114	0,214	1,558	0,683	0,249	-4	0,087	77	0,006
77	0,481	-0,056	0,517	-0,171	0,093	0,043	1,236	0,194	0,083	-3	0,078	78	-0,028
78	0,488	-0,029	0,48	-0,174	0,09	0,042	-0,695	0,203	0,088	-2	0,075	79	-0,008
79	0,494	-0,022	0,712	-0,173	0,083	0,148	-0,094	0,606	0,207	-1	0,155	80	-0,007
80	0,5	-0,051	0,969	-0,178	0,075	0,231	0	0,857	0,239	0	0,431		

Anexo 4.3.1. Resultados numéricos del Análisis correlatorio y espectral. ACE-I.

Periodo: 30-9-93 a 29-7-94
Duración: 303 días; Paso: 1; Truncamiento: 100; Filtro: Tukey
Precipitación: Azkoitia (1037Q-P1); Media: 4,21; Varianza: 99,59
Precipitación: Lapatx (P2); Media: 5,23; Varianza: 124,60
Caudal lixiviados: Media: 4,70; Varianza: 25,73

k	f	r(P1)	Sf(P1)	r(P2)	Sf(P2)	r(Q)	Sf(Q)	Sxy(P1)	Sxy(P2)	Fxy(P1)	Fxy(P2)	Cxy(P1)	Cxy(P2)	Gxy(P1)	Gxy(P2)	k	r(k)P1	r(k)P2	k	r(k)P1	r(k)P2
0	0	1	3,023	1	3,38	1	16,251	6,864	7,367	0	0	0,979	0,994	2,271	2,179	-100	0,097	0,095	1	0,529	0,756
1	0,005	0,269	4,559	0,565	5,554	0,864	21,455	9,578	10,588	0,087	0,208	0,968	0,97	2,101	1,906	-99	0,128	0,145	2	0,476	0,617
2	0,01	0,209	6,463	0,308	8,069	0,667	24,504	12,115	13,666	0,168	0,345	0,963	0,972	1,875	1,694	-98	0,119	0,227	3	0,391	0,464
3	0,015	0,082	5,375	0,103	7,751	0,53	17,702	9,47	11,281	0,258	0,487	0,971	0,963	1,762	1,455	-97	0,12	0,209	4	0,309	0,366
4	0,02	0,062	3,891	0,077	6,948	0,43	12,081	6,472	8,728	0,407	0,651	0,944	0,953	1,663	1,256	-96	0,058	0,147	5	0,245	0,311
5	0,025	-0,016	3,478	0,007	5,82	0,351	8,664	4,943	6,561	0,522	0,578	0,9	0,924	1,421	1,127	-95	0,014	0,076	6	0,232	0,232
6	0,03	0,063	3,072	0,033	4,716	0,297	6,694	4,157	5,173	0,472	0,399	0,917	0,921	1,353	1,097	-94	-0,021	0,032	7	0,176	0,238
7	0,035	0,02	3,717	0,055	4,775	0,276	8,251	5,334	5,824	0,461	0,483	0,963	0,928	1,435	1,22	-93	-0,038	-0,003	8	0,172	0,219
8	0,04	0,038	5,548	0,05	6,67	0,243	9,243	6,844	7,362	0,522	0,578	0,956	0,938	1,234	1,104	-92	-0,044	-0,019	9	0,122	0,177
9	0,045	0,014	7,225	-0,04	8,982	0,198	9,451	7,91	8,813	0,601	0,688	0,957	0,957	1,095	0,981	-91	-0,015	0,028	10	0,109	0,144
10	0,05	-0,016	5,668	0,001	7,07	0,165	7,537	6,047	6,892	0,604	0,739	0,925	0,944	1,067	0,975	-90	-0,016	0,073	11	0,104	0,133
11	0,055	0,005	2,878	-0,016	4,037	0,141	4,278	2,953	3,703	0,279	0,542	0,842	0,891	1,026	0,917	-89	-0,029	0,025	12	0,08	0,122
12	0,06	-0,017	1,835	-0,001	3,475	0,121	3,374	2,162	3,118	0,165	0,477	0,869	0,911	1,178	0,897	-88	-0,022	0,01	13	0,057	0,095
13	0,065	-0,031	1,03	-0,02	2,504	0,106	2,763	1,469	2,412	0,541	0,599	0,871	0,917	1,426	0,963	-87	0,003	0,016	14	0,051	0,078
14	0,07	-0,005	0,577	0,002	2,055	0,096	2,142	1,014	1,901	0,591	0,442	0,912	0,906	1,756	0,925	-86	0,026	0,041	15	0,046	0,098
15	0,075	-0,018	1,983	0	3,722	0,09	2,668	2,006	2,993	0,426	0,404	0,872	0,95	1,011	0,804	-85	0,039	0,059	16	0,028	0,07
16	0,08	0,001	4,497	-0,044	5,311	0,075	3,752	3,734	4,11	0,604	0,594	0,909	0,921	0,83	0,774	-84	0,082	0,086	17	0,002	0,045
17	0,085	-0,057	5,076	-0,082	5,977	0,065	4,093	4,243	4,393	0,723	0,825	0,931	0,888	0,836	0,735	-83	0,094	0,111	18	-0,006	0,016
18	0,09	-0,05	4,611	-0,088	6,212	0,064	3,72	3,835	4,373	0,57	0,846	0,926	0,91	0,832	0,704	-82	0,042	0,096	19	-0,004	0,012
19	0,095	-0,04	3,503	-0,026	4,528	0,072	3,151	3,007	3,458	0,368	0,747	0,905	0,915	0,858	0,764	-81	0,03	0,047	20	0,01	0,036
20	0,1	0,025	2,03	0,056	2,785	0,087	2,021	1,655	2,064	0,113	0,562	0,817	0,87	0,815	0,741	-80	0,014	0,022	21	0,04	0,061
21	0,105	0,101	1,786	0,062	2,584	0,113	1,551	1,327	1,814	-0,025	0,392	0,797	0,906	0,743	0,702	-79	-0,012	0,017	22	0,106	0,093
22	0,11	0,181	1,286	0,103	1,741	0,151	1,449	0,773	1,346	0,203	0,518	0,566	0,847	0,601	0,773	-78	0	0,035	23	0,082	0,129
23	0,115	0,131	1,673	0,094	2,06	0,143	1,355	0,719	1,362	0,42	0,607	0,478	0,815	0,43	0,661	-77	0,054	0,042	24	0,086	0,146
24	0,12	0,018	2,622	0,051	3,523	0,095	1,781	1,573	2,281	0,586	0,657	0,728	0,911	0,6	0,648	-76	0,055	0,082	25	0,107	0,15
25	0,125	0,041	2,777	0,008	3,629	0,049	2,105	2,114	2,574	0,762	0,863	0,874	0,931	0,761	0,709	-75	0,026	0,051	26	0,086	0,113
26	0,13	0,019	3,124	-0,024	3,074	0,014	2,172	2,245	2,365	0,639	0,94	0,862	0,915	0,719	0,769	-74	-0,016	0,014	27	0,045	0,071
27	0,135	-0,044	3,046	-0,048	2,981	-0,013	1,995	2,082	2,164	0,269	0,767	0,844	0,887	0,683	0,726	-73	-0,037	-0,027	28	0,007	0,033
28	0,14	-0,035	3,449	-0,075	4,38	-0,039	1,837	2,257	2,599	0,037	0,726	0,897	0,916	0,655	0,593	-72	-0,033	-0,051	29	-0,018	-0,002
29	0,145	-0,08	3,425	-0,103	4,437	-0,058	1,464	1,898	2,324	-0,053	0,693	0,847	0,912	0,554	0,524	-71	-0,032	-0,062	30	-0,046	-0,039
30	0,15	-0,103	2,003	-0,117	2,912	-0,072	0,811	1,025	1,347	-0,38	0,505	0,805	0,877	0,512	0,463	-70	-0,048	-0,061	31	-0,067	-0,062
31	0,155	-0,098	1,158	-0,114	2,366	-0,082	0,645	0,639	1,099	-0,503	0,511	0,739	0,89	0,552	0,465	-69	-0,032	-0,042	32	-0,074	-0,07
32	0,16	-0,057	0,625	-0,083	1,584	-0,088	0,643	0,264	0,868	-0,055	0,609	0,416	0,86	0,422	0,548	-68	-0,033	-0,033	33	-0,065	-0,076
33	0,165	-0,064	0,868	-0,056	1,554	-0,091	0,728	0,551	0,927	0,717	0,79	0,692	0,871	0,634	0,596	-67	-0,049	-0,052	34	-0,068	-0,069
34	0,17	0,005	1,5	-0,006	1,783	-0,09	0,914	1,005	1,164	0,521	0,98	0,858	0,911	0,67	0,653	-66	-0,028	-0,038	35	-0,066	-0,069
35	0,175	-0,037	1,393	-0,048	1,369	-0,09	0,914	0,975	1,009	0,222	0,987	0,864	0,902	0,7	0,737	-65	-0,009	-0,013	36	-0,074	-0,066
36	0,18	-0,031	2,32	-0,033	1,872	-0,094	0,855	1,238	1,095	-0,167	0,648	0,879	0,866	0,534	0,585	-64	-0,001	-0,006	37	-0,081	-0,077
37	0,185	-0,038	3,14	-0,077	2,306	-0,096	0,761	1,427	1,219	-0,324	0,497	0,923	0,92	0,454	0,529	-63	-0,014	-0,008	38	-0,08	-0,09
38	0,19	-0,014	1,857	-0,049	1,3	-0,097	0,522	0,741	0,687	-0,45	0,434	0,753	0,835	0,399	0,529	-62	-0,035	-0,025	39	-0,082	-0,095
39	0,195	-0,054	0,881	-0,031	0,886	-0,094	0,311	0,246	0,348	-1,023	0,305	0,469	0,664	0,279	0,393	-61	-0,022	-0,038	40	-0,076	-0,089
40	0,2	0,003	1,208	-0,006	1,822	-0,089	0,329	0,345	0,606	-0,634	0,657	0,548	0,783	0,286	0,333	-60	-0,012	-0,043	41	-0,076	-0,083
41	0,205	-0,034	1,295	-0,005	1,863	-0,08	0,39	0,299	0,628	0,104	1,061	0,422	0,737	0,231	0,337	-59	-0,018	-0,044	42	-0,066	-0,073
42	0,21	-0,019	0,8	0,019	0,981	-0,071	0,423	0,283	0,477	1,357	1,56	0,485	0,74	0,353	0,486	-58	-0,03	-0,059	43	-0,062	-0,072
43	0,215	0,003	0,576	0,002	0,735	-0,066	0,528	0,267	0,539	1,277	-1,562	0,484	0,866	0,464	0,733	-57	-0,042	-0,06	44	-0,045	-0,056
44	0,22	0,005	1,164	0,016	0,813	-0,058	0,612	0,511	0,573	-0,17	1,226	0,605	0,813	0,439	0,705	-56	-0,038	-0,053	45	-0,048	-0,052
45	0,225	-0,01	1,677	0,002	0,778	-0,053	0,623	0,881	0,576	-0,341	0,891	0,862	0,827	0,525	0,74	-55	-0,029	-0,053	46	-0,051	-0,049
46	0,23	-0,025	1,583	-0,011	0,762	-0,053	0,483	0,659	0,465	-0,421	0,795	0,753	0,766	0,416	0,61	-54	-0,044	-0,05	47	-0,03	-0,04
47	0,235	-0,01	1,356	-0,022	0,485	-0,054	0,33	0,467	0,254	-0,954	0,442	0,698	0,636	0,344	0,524	-53	-0,048	-0,061	48	0,036	-0,005
48	0,24	0,023	1,185	0,032	0,65	-0,049	0,303	0,283	0,307	-1,253	0,328	0,472	0,693	0,239	0,473	-52	-0,069	-0,068	49	0,056	0,041
49	0,245	0,073	1,244	0,078	1,383	-0,051	0,304	0,14	0,541	0,15	0,649	0,228	0,834	0,113	0,391	-51	-0,072	-0,077	50	0,008	0,028
50	0,25	-0,048	1,123	-0,012	1,475	-0,067	0,378	0,343	0,597	0,197	1,072	0,526	0,8	0,305	0,405	-50	-0,071	-0,074	51	-0,02	-0,015
51	0,255	-0,051	0,859	-0,069	1,034	-0,081	0,431	0,263	0,532	-0,332	1,425	0,431	0,796	0,305	0,514	-49	-0,058	-0,041	52	-0,036	-0,05
52	0,26	-0,077	1,253	-0,087	1,492	-0,088	0,515	0,511	0,748	-0,602	1,125	0,636	0,853	0,408	0,501	-48	-0,056	-0,033	53	-0,036	-0,059
53	0,265	-0,032	1,753	-0,06	1,915	-0,09	0,616	0,854	0,998	-0,43	0,928	0,823	0,919	0,487	0,521	-47	-0,053	-0,051	54	-0,054	-0,057
54	0,27	-0,059	1,884	-0,036	1,185	-0,093	0,51	0,799	0,695	-0,404	0,737	0,815	0,895	0,424	0,587	-46	-0,046	-0,06	55	-0,078	-0,083
55	0,275	-0,031	1,867	-0,074	0,821	-0,095	0,381	0,689	0,468	-0,524	0,481	0,817	0,837	0,369	0,571	-45	-0,019	-0,028	56	-0,086	-0,081
56	0,28	-0,082	1,426	-0,033	1,009	-0,092	0,295	0,482	0,348	-0,831	0,834	0,744	0,639	0,338	0,345	-44	-0,01	0,001	57	-0,08	-0,066
57	0,285	-0,086	1,101	-0,034	1,062	-0,092	0,247	0,283	0,383	-1,252	1,335	0,543	0,747	0,257	0,361	-43	-0,014	-0,019	58	-0,071	-0,079
58	0,29	-0,037	1,238	-0,074	0,853	-0,091	0,205	0,154	0,321	1,492	1,283	0,305	0,768	0,124	0,377	-42	-0,033	0,007	59	-0,075	-0,077
59	0,295	0,011	0,984	-0,039	0,702	-0,086	0,139	0,145	0,162	0,775	-1,363	0,39	0,519	0,147	0,231	-41	-0,02	0,022	60	-0,079	-0,081
60	0,3	-0,061	0,727	-0,039	0,922	-0,08	0,174	0,205	0,259	1,441	-1,066	0,578	0,648	0,283	0,281	-40	-0,011	0,003	61	-0,069	-0,071
61	0,305	0,02	1,372	-0,051	0,951	-0,072	0,218	0,32	0,337	-1,029	-1,329	0,585	0,74	0,233	0,354	-39	-0,028	-0,006	62	-0,052	-0,075
62	0,31	-0,032	1,81	-0,069	0,666	-0,061	0,219	0,42	0,292	-0,71	1,412	0,666	0,764	0,232	0,438	-38	-0,044	-0,014	63	0,003	-0,047
63	0,315	-0,001	1,563	0,002	0,482	-0,049	0,203	0,415	0,255	-0,703	0,903	0,738	0,815	0,266	0,528	-37	-0,048	-0,039	64	0,029	0,026
64	0,32	0,036	1,836	0,082	0,367	-0,051	0,152	0,346	0,164	-0,751	0,636	0,654	0,694	0,188	0,447	-36	-0,038	-0,048	65	0,034	0,067
65	0,325	0,054	1,911	0,093	0,241	-0,064	0,101	0,31	0,052	-1,074	0,935	0,705	0,331	0,162	0,215	-35	-0,032	-0,052	66	0,018	0,06
66	0,33	0,005	1,046	0,043	0,329	-0,082	0,075	0,199	0,073	-1,253	1,216	0,713	0,468	0,19	0,223	-34	-0,043	-0,036	67	-0,02	0,01
67	0,335	-0,04	0,559	-0,017	0,346	-0,101	0,061	0,058	0,09	-1,026	0,84	0,314	0,617	0,104	0,26	-33	-0,057	-0,045	68	-0,031	-0,023
68	0,34	-0,009	1,042	-0,013	0,137	-0,108	0,051	0,081	0,022	-1,392	0,115	0,351	0,268	0,078	0,164	-32	-0,063	-0,061	69	-0,051	-0,027
69	0,345	0,005	1,712	0,021	0,208	-0,112	0,071	0,199	0,03	-0,675	-0,45	0,57	0,249	0,116	0,145	-31	-0,073	-0,073	70	-0,06	-0,039
70	0,35	-0,042	2,028	-0,036	0,594	-0,112	0,11	0,342	0,129	-0,606	-1,427	0,724	0,506	0,169	0,218	-30	-0,079	-0,084	71	-0,061	-0,054
71	0,355	-0,001	1,798	-0,05	0,626	-0,111	0,116	0,342	0,164	-0,671	1,352	0,749	0,609	0,19	0,262	-29	-0,075	-0,087	72	-0,072	-0,058
72	0,36	-0,046	1,564	-0,079	0,433	-0,11	0,106	0,317	0,147	-0,493	1,152	0,78	0,685	0,203	0,339	-28	-0,069	-0,097	73	-0,079	-0,081
73	0,365	-0,064	1,366	-0,114	0,4	-0,103	0,099	0,29	0,084	-0,45	0,585	0,788	0,424	0,212	0,211	-27	-0,078	-0,083	74	-0,073	-0,094
74	0,37	-0,041	1,141	-0,079	0,314	-0,088	0,083	0,166	0,085	-0,065	-0,923	0,54	0,525	0,146	0,27	-26	-0,081	-0,085	75	-0,017	-0,085
75	0,375	0,055	1,366	-0,048	0,255	-0,067	0,057	0,132	0,061	0,745	1,423	0,473	0,506	0,096	0,239	-25	-0,082	-0,09	76	-0,002	-0,06
76	0,38	0,052	1,13	0,034	0,271	-0,051	0,058	0,1	0,062	0,919	-1,39	0,389	0,496	0,088	0,23	-24	-0,014	-0,079	77	-0,044	-0,072
77	0,385	0,091	0,891	0,026	0,497	-0,055	0,07	0,075	0,141	1,425	-0,827	0,302	0,758	0,085	0,284	-23	0,135	-0,01	78	-0,053	-0,088
78	0,39	-0,041	1,269	-0,006	0,828	-0,045	0,085	0,102	0,119	0,624	-0,568	0,309	0,449	0,08	0,144	-22	0,198	0,083	79	-0,061	-0,095
79	0,395	-0,067	1,191	-0,032	0,602	-0,028	0,128	0,234	0,038	0,131	0,361	0,599	0,136	0,197	0,063	-21	0,132	0,079	80	-0,072	-0,097
80	0,4	-0,052	0,838	-0,078	0,421	-0,008	0,126	0,194	0,076	0,009	0,959	0,596	0,33	0,231	0,181	-20	0,079	0,038	81	-0,073	-0,104
81	0,405	-0,049	0,805	-0,082	0,899	0,018	0,129	0,15	0,262	-0,227	0,601	0,466	0,769	0,186	0,291	-19	0,037	0,026	82	-0,032	-0,098
82	0,41	0,041	0,913	-0,018	1,01	0,057	0,137	0,184	0,318	0,018	0,573	0,522	0,857	0,202	0,315	-18	0,007	-0,01	83	0,063	-0,022
83	0,415	0,071	0,707	0,071	0,623	0,104	0,081	0,118	0,148	0,449	0,671	0,494	0,657	0,167	0,237	-17	-0,005	-0,035	84	0,135	0,05
84	0,42	0,108	0,692	0,102	0,463	0,106	0,051	0,025	0,092	-0,69	0,669	0,131	0,603	0,035	0,199	-16	-0,001	-0,037	85	0,137	0,065
85	0,425	0,133	1,26	0,079	0,374	0,086	0,047	0,066	0,092	-1,274	0,729	0,27	0,687	0,052	0,245	-15	0,013	-0,026	86	0,12	0,068
86	0,43	0,071	1,402	0,048	0,276	0,065	0,048	0,062	0,073	-1,36	1,177	0,238	0,632	0,044	0,264	-14	0,001	-0,023	87	0,109	0,032
87	0,435	0,075	1,389	0,027	0,243	0,043	0,05	0,098	0,062	-1,542	1,467	0,371	0,564	0,071	0,256	-13	-0,002	-0,03	88	0,076	0,021
88	0,44	0,034	1,69	-0,005	0,377	0,024	0,051	0,16	0,083	-1,345	1,162	0,542	0,598	0,094	0,221	-12	0,008	-0,021	89	0,05	-0,005
89	0,445	0,009	1,753	-0,011	0,625	0,013	0,068	0,223	0,13	-1,102	0,914	0,648	0,63	0,127	0,207	-11	0,001	-0,026	90	0,041	-0,004
90	0,45	0,007	1,739	0,054	0,554	0,016	0,071	0,254	0,09	-0,762	0,83	0,722	0,453	0,146	0,162	-10	-0,01	-0,041	91	0,039	-0,006
91	0,455	0,015	1,425	0,082	0,338	0,016	0,069	0,232	0,066	-0,542	1,109	0,739	0,434	0,163	0,196	-9	0,008	-0,044	92	0,026	-0,004
92	0,46	-0,048	1,044	0,01	0,354	0,006	0,056	0,145	0,074	-0,507	-1,565	0,602	0,527	0,139	0,209	-8	0,038	-0,012	93	0,016	-0,015
93	0,465	-0,001	1,411	-0,038	0,534	0,005	0,034	0,13	0,078	-0,751	-1,38	0,593	0,577	0,092	0,146	-7	0,054	0,021	94	0,005	-0,029
94	0,47	-0,052	2,103	-0,049	0,865	0,015	0,036	0,211	0,123	-0,986	1,133	0,771	0,699	0,1	0,142	-6	0,025	0,022	95	-0,003	-0,029
95	0,475	-0,034	2,131	-0,017	1,047	0,035	0,033	0,213	0,153	-1,049	0,867	0,798	0,821	0,1	0,147	-5	0,036	0,006	96	0,016	-0,021
96	0,48	-0,024	1,393	0,023	0,824	0,069	0,031	0,156	0,106	-0,969	1,366	0,752	0,664	0,112	0,129	-4	0,046	0,024	97	0,048	0,019
97	0,485	0,106	1,21	0,137	0,69	0,121	0,036	0,163	0,096	-0,653	-1,231	0,786	0,615	0,135	0,14	-3	0,08	0,073	98	0,084	0,067
98	0,49	0,003	2,174	0,172	0,98	0,169	0,033	0,236	0,091	-0,416	-0,79	0,883	0,508	0,109	0,093	-2	0,207	0,17	99	0,053	0,091
99	0,495	0,124	2,5	0,162	1,418	0,167	0,034	0,25	0,079	-0,351	-0,631	0,865	0,361	0,1	0,055	-1	0,452	0,358	100	0,067	0,081
100	0,5	-0,01	2,126	0,076	1,612	0,155	0,037	0,205	0,018	0	0	0,737	0,074	0,097	0,011	0	0,631	0,66			

Anexo 4.3.1.(continuación). Resultados numéricos del Análisis correlatorio y espectral. ACE-II.

Periodo: 20-8-94 a 25-2-95
Duración: 190 días; Paso: 1; Truncamiento: 63; Filtro: Tukey
Precipitación: Azkoitia (1037Q-P1); Media: 4,30; Varianza: 90,07
Precipitación: Lapatx (P2); Media: 5,14; Varianza: 106,66
Caudal lixiviados: Media: 3,51; Varianza: 14,67

k	f	r(P1)	Sf(P1)	r(P2)	Sf(P2)	r(Q)	Sf(Q)	Sxy(P1)	Sxy(P2)	Fxy(P1)	Fxy(P2)	Cxy(P1)	Cxy(P2)	Gxy(P1)	Gxy(P2)	k	r(k)P1	r(k)P2	k	r(k)P1	r(k)P2
0	0	1	4,112	1	5,283	1	38,07	11,463	12,107	0	0	0,916	0,854	2,788	2,291	-63	0,008	0,002	1	0,537	0,618
1	0,008	0,183	5,99	0,436	8,283	0,883	35,49	12,945	15,079	0,451	0,466	0,888	0,88	2,161	1,821	-62	0,023	0,023	2	0,408	0,489
2	0,016	0,081	6,61	0,134	9,205	0,792	24,21	11,763	13,993	0,722	0,659	0,93	0,937	1,78	1,52	-61	0,063	0,046	3	0,359	0,415
3	0,024	0,044	3,219	0,073	4,42	0,738	10,08	5,202	5,998	0,796	0,722	0,913	0,898	1,616	1,357	-60	0,011	0,003	4	0,339	0,353
4	0,032	0,035	1,121	0,089	2,01	0,691	4,213	1,487	2,101	0,684	0,53	0,684	0,722	1,326	1,045	-59	0,004	-0,003	5	0,279	0,344
5	0,04	0,085	1,599	0,126	3,273	0,67	4,503	2,265	3,342	0,975	0,676	0,844	0,871	1,417	1,021	-58	0,005	-0,003	6	0,349	0,412
6	0,048	0,22	2,223	0,21	4,281	0,626	4,783	2,949	4,226	1,02	0,776	0,905	0,934	1,327	0,987	-57	0,001	-0,009	7	0,366	0,364
7	0,056	-0,05	2,651	0,04	3,759	0,549	3,275	2,555	3,261	1,224	0,968	0,867	0,929	0,964	0,867	-56	-0,012	-0,019	8	0,27	0,278
8	0,063	-0,047	2,648	-0,079	2,661	0,5	1,472	1,732	1,794	1,422	1,22	0,877	0,907	0,654	0,674	-55	0,003	-0,011	9	0,215	0,226
9	0,071	0,012	2,402	0,006	2,06	0,474	0,498	0,759	0,767	1,148	1,14	0,694	0,757	0,316	0,372	-54	0,005	-0,009	10	0,219	0,263
10	0,079	0,072	2,266	0,128	2,468	0,457	0,504	0,754	0,953	0,516	0,645	0,706	0,855	0,333	0,386	-53	-0,002	-0,012	11	0,235	0,3
11	0,087	0,174	2,646	0,22	3,941	0,432	1,13	1,39	2,037	0,912	0,752	0,804	0,966	0,525	0,517	-52	-0,003	-0,017	12	0,304	0,31
12	0,095	0,237	3,28	0,189	4,904	0,382	1,543	1,979	2,704	1,279	0,87	0,88	0,983	0,603	0,551	-51	0,012	-0,005	13	0,27	0,236
13	0,103	-0,025	2,783	-0,033	3,718	0,334	1,176	1,643	2,043	1,474	0,941	0,908	0,977	0,59	0,549	-50	0,037	0,017	14	0,195	0,173
14	0,111	-0,079	1,757	-0,083	1,701	0,305	0,494	0,806	0,867	1,541	1,004	0,865	0,945	0,459	0,51	-49	0,054	0,007	15	0,146	0,149
15	0,119	0,031	0,97	-0,029	0,798	0,307	0,233	0,266	0,375	1,077	0,826	0,559	0,87	0,274	0,47	-48	0,025	-0,008	16	0,156	0,176
16	0,127	0,071	0,576	0,095	1,083	0,309	0,453	0,337	0,647	0,676	0,847	0,66	0,924	0,586	0,597	-47	0,021	-0,014	17	0,177	0,204
17	0,135	0,038	0,673	0,052	1,635	0,284	0,707	0,591	0,995	0,995	0,921	0,856	0,925	0,878	0,609	-46	0,029	-0,005	18	0,164	0,193
18	0,143	0,084	1,102	0,026	1,824	0,268	0,653	0,712	0,98	1,075	0,929	0,84	0,898	0,646	0,537	-45	0,034	-0,001	19	0,177	0,182
19	0,151	-0,012	1,678	0,001	1,483	0,244	0,335	0,547	0,582	1,15	1,012	0,729	0,825	0,326	0,392	-44	0,071	0,008	20	0,147	0,173
20	0,159	-0,043	2,199	0	1,527	0,234	0,162	0,408	0,402	1,261	0,989	0,684	0,809	0,185	0,263	-43	0,031	-0,011	21	0,148	0,215
21	0,167	0,093	3,507	0,104	3,575	0,269	0,468	1,055	1,23	1,388	0,949	0,824	0,951	0,301	0,344	-42	0,007	-0,031	22	0,269	0,297
22	0,175	-0,002	5,417	0,169	6,519	0,219	1,004	2,178	2,474	1,432	0,972	0,934	0,967	0,402	0,38	-41	0,001	-0,04	23	0,218	0,276
23	0,183	-0,015	5,413	0,027	6,493	0,153	1,277	2,445	2,745	1,489	0,998	0,93	0,953	0,452	0,423	-40	0,046	0	24	0,185	0,187
24	0,19	-0,052	3,767	-0,099	4,334	0,094	1,145	1,905	2,152	1,55	1,048	0,917	0,966	0,506	0,496	-39	0,006	-0,036	25	0,128	0,123
25	0,198	-0,099	2,375	-0,118	2,687	0,054	0,712	1,178	1,326	1,497	1,103	0,906	0,958	0,496	0,493	-38	-0,013	-0,068	26	0,069	0,066
26	0,206	-0,101	1,241	-0,143	1,189	0,025	0,251	0,382	0,448	-1,563	1,236	0,684	0,821	0,308	0,377	-37	-0,046	-0,085	27	0,03	0,033
27	0,214	-0,025	0,813	-0,121	0,541	0,009	0,115	0,115	0,182	-0,701	-1,269	0,375	0,73	0,141	0,337	-36	-0,036	-0,097	28	0,026	0,02
28	0,222	-0,043	0,728	-0,05	0,515	-0,01	0,239	0,145	0,267	1,028	-1,487	0,347	0,763	0,199	0,52	-35	-0,066	-0,107	29	0,013	0,012
29	0,23	-0,032	0,808	-0,047	0,754	-0,03	0,327	0,155	0,328	0,995	-1,5	0,302	0,661	0,192	0,435	-34	-0,065	-0,115	30	0,006	-0,012
30	0,238	-0,083	1,418	-0,094	1,254	-0,04	0,296	0,291	0,422	-1,265	-1,33	0,449	0,692	0,205	0,337	-33	-0,077	-0,122	31	-0,01	-0,029
31	0,246	-0,061	1,495	-0,136	1,057	-0,06	0,184	0,298	0,304	-1,265	-1,306	0,568	0,69	0,199	0,288	-32	-0,082	-0,12	32	-0,03	-0,047
32	0,254	-0,084	1,392	-0,121	0,817	-0,07	0,074	0,141	0,132	1,275	1,498	0,44	0,538	0,101	0,162	-31	-0,098	-0,144	33	-0,037	-0,059
33	0,262	-0,044	1,558	-0,078	1,165	-0,08	0,072	0,204	0,229	1,137	1,285	0,609	0,792	0,131	0,197	-30	-0,092	-0,145	34	-0,027	-0,064
34	0,27	-0,026	1,343	-0,058	1,665	-0,09	0,181	0,322	0,466	1,256	1,108	0,652	0,847	0,24	0,28	-29	-0,11	-0,122	35	-0,02	-0,063
35	0,278	-0,077	0,979	-0,115	1,513	-0,09	0,266	0,304	0,526	1,355	0,874	0,595	0,829	0,31	0,347	-28	-0,086	-0,138	36	-0,052	-0,089
36	0,286	-0,128	0,867	-0,143	0,819	-0,09	0,232	0,281	0,35	-1,39	0,805	0,626	0,802	0,324	0,427	-27	-0,084	-0,114	37	-0,077	-0,111
37	0,294	-0,05	0,822	-0,134	0,694	-0,09	0,137	0,223	0,193	-1,396	0,898	0,665	0,627	0,272	0,279	-26	-0,068	-0,157	38	-0,091	-0,115
38	0,302	-0,093	0,561	-0,103	0,963	-0,09	0,061	0,043	0,125	0,184	0,792	0,231	0,517	0,076	0,13	-25	-0,114	-0,169	39	-0,09	-0,118
39	0,31	-0,029	0,861	-0,096	1,461	-0,09	0,095	0,033	0,264	0,951	1,283	0,116	0,709	0,039	0,18	-24	-0,129	-0,168	40	-0,093	-0,106
40	0,317	-0,053	2,147	-0,022	2,208	-0,07	0,249	0,439	0,631	-1,329	1,346	0,601	0,851	0,205	0,286	-23	-0,128	-0,148	41	-0,083	-0,1
41	0,325	-0,012	3,363	-0,037	2,094	-0,07	0,369	0,823	0,778	-1,196	1,258	0,739	0,886	0,245	0,372	-22	-0,101	-0,095	42	-0,086	-0,095
42	0,333	-0,056	3,689	-0,098	1,364	-0,07	0,357	0,948	0,64	-1,085	1,02	0,826	0,916	0,257	0,469	-21	-0,073	0,01	43	-0,106	-0,119
43	0,341	-0,07	3,141	-0,092	1,147	-0,07	0,255	0,785	0,493	-1,047	0,688	0,877	0,911	0,25	0,43	-20	0,002	-0,018	44	-0,108	-0,123
44	0,349	-0,043	2,293	-0,044	1,143	-0,07	0,138	0,47	0,334	-0,982	0,504	0,837	0,842	0,205	0,292	-19	-0,058	-0,053	45	-0,099	-0,121
45	0,357	-0,005	1,538	-0,052	1,115	-0,06	0,116	0,326	0,282	-0,943	0,912	0,77	0,784	0,212	0,253	-18	-0,046	-0,034	46	-0,092	-0,112
46	0,365	-0,005	1,177	-0,003	1,053	-0,06	0,217	0,434	0,411	-0,848	1,218	0,859	0,861	0,369	0,391	-17	-0,012	-0,027	47	-0,087	-0,094
47	0,373	-0,055	1,499	-0,062	0,735	-0,06	0,32	0,664	0,389	-0,678	1,053	0,958	0,801	0,443	0,529	-16	0,005	-0,006	48	-0,104	-0,111
48	0,381	-0,059	1,805	-0,092	0,357	-0,06	0,325	0,738	0,186	-0,626	0,774	0,964	0,547	0,409	0,521	-15	0,049	0,027	49	-0,114	-0,123
49	0,389	-0,047	1,376	-0,079	0,252	-0,06	0,226	0,524	0,006	-0,522	-1,105	0,94	0,026	0,381	0,024	-14	0,035	-0,028	50	-0,104	-0,111
50	0,397	0,063	0,794	0,029	0,289	-0,06	0,098	0,221	0,019	-0,246	-0,784	0,793	0,112	0,279	0,065	-13	-0,026	-0,06	51	-0,091	-0,098
51	0,405	0,019	0,815	0,006	0,314	-0,05	0,03	0,045	0,045	-0,165	-1,521	0,288	0,459	0,056	0,143	-12	-0,027	-0,027	52	-0,093	-0,102
52	0,413	0,028	0,972	-0,048	0,535	-0,05	0,051	0,117	0,125	-0,991	-0,835	0,526	0,755	0,12	0,233	-11	0,051	0,084	53	-0,082	-0,101
53	0,421	-0,03	1,032	-0,053	0,7	-0,05	0,121	0,267	0,208	-0,856	-0,863	0,757	0,716	0,259	0,298	-10	0,09	0,087	54	-0,067	-0,097
54	0,429	0,072	1,231	-0,03	0,783	-0,05	0,171	0,336	0,245	-0,587	-1,114	0,732	0,67	0,273	0,313	-9	0,095	0,082	55	-0,034	-0,08
55	0,437	-0,021	1,365	0,027	0,863	-0,05	0,156	0,351	0,21	-0,33	-1,275	0,761	0,572	0,257	0,243	-8	0,056	0,039	56	-0,04	-0,035
56	0,444	0,02	1,077	0,006	0,733	-0,05	0,096	0,215	0,104	-0,108	1,341	0,67	0,393	0,2	0,142	-7	0,04	0,017	57	-0,051	-0,065
57	0,452	-0,058	0,844	-0,04	0,583	-0,05	0,043	0,107	0,041	0,983	0,715	0,559	0,256	0,127	0,07	-6	0,035	0,1	58	-0,064	-0,067
58	0,46	-0,031	1,111	-0,046	0,423	-0,05	0,053	0,14	0,034	0,767	-0,231	0,579	0,227	0,126	0,08	-5	0,132	0,137	59	-0,071	-0,076
59	0,468	-0,056	1,21	-0,057	0,438	-0,05	0,125	0,253	0,042	0,366	0,069	0,649	0,178	0,209	0,095	-4	0,138	0,127	60	-0,062	-0,069
60	0,476	-0,05	1,895	-0,038	0,689	-0,05	0,174	0,444	0,195	0,436	-0,533	0,773	0,564	0,234	0,283	-3	0,102	0,138	61	-0,064	-0,052
61	0,484	-0,028	2,615	-0,009	0,78	-0,05	0,139	0,467	0,219	0,279	-1,014	0,776	0,665	0,179	0,28	-2	0,111	0,146	62	-0,045	-0,042
62	0,492	0,069	2,239	0,091	1,043	-0,04	0,069	0,187	0,129	-0,282	1,545	0,475	0,481	0,083	0,124	-1	0,144	0,206	63	-0,037	-0,008
63	0,5	-0,004	1,915	0,045	1,333	-0,04	0,037	0,029	0,035	0	0	0,107	0,158	0,015	0,026	0	0,267	0,489			

Anexo 4.3.1.(continuación). Resultados numéricos del Análisis correlatorio y espectral. ACE-III.

Periodo: 20-8-94 a 25-2-95
Duración: 190 días (datos cada 12 horas); Paso: 1; Truncamiento: 125; Filtro: Tukey
Precipitación: Lapatx (P2); Media: 2,58; Varianza: 40,35
Caudal lixiviados: Media: 3,49; Varianza: 15,09

k	f	r(P)	Sf(P)	r(Q)	Sf(Q)	Sxy	Fxy	Cxy	Gxy	k	r(k)	k	r(k)
0	0	1	6,932	1	74,258	19,553	0	0,862	2,821	-125	0,003	1	0,547
1	0,004	0,466	10,756	0,92	68,807	23,916	0,465	0,879	2,224	-124	0,028	2	0,452
2	0,008	0,152	11,952	0,848	46,423	22,037	0,671	0,936	1,844	-123	0,055	3	0,42
3	0,012	0,157	5,822	0,805	19,179	9,464	0,726	0,896	1,626	-122	0,024	4	0,399
4	0,016	0,089	2,703	0,769	8,125	3,407	0,488	0,727	1,26	-121	0,008	5	0,342
5	0,02	0,061	4,404	0,739	8,711	5,398	0,663	0,872	1,226	-120	0,002	6	0,339
6	0,024	0,082	5,791	0,718	9,079	6,798	0,772	0,937	1,174	-119	0	7	0,316
7	0,028	0,037	4,941	0,69	6,092	5,16	0,95	0,941	1,044	-118	-0,002	8	0,279
8	0,032	0,048	3,309	0,674	2,666	2,715	1,193	0,914	0,82	-117	0	9	0,261
9	0,036	0,012	2,587	0,662	0,892	1,177	1,101	0,775	0,455	-116	0,008	10	0,271
10	0,04	0,089	3,315	0,655	1,012	1,632	0,641	0,891	0,492	-115	0,013	11	0,311
11	0,044	0,161	5,306	0,637	2,236	3,348	0,751	0,972	0,631	-114	0,003	12	0,332
12	0,048	0,184	6,501	0,608	2,911	4,255	0,883	0,978	0,654	-113	-0,01	13	0,322
13	0,052	0,096	4,975	0,571	2,104	3,134	0,969	0,969	0,63	-112	-0,009	14	0,287
14	0,056	-0,024	2,322	0,534	0,837	1,292	1,016	0,926	0,556	-111	-0,003	15	0,242
15	0,06	-0,053	1,09	0,506	0,453	0,581	0,796	0,826	0,533	-110	-0,004	16	0,218
16	0,064	-0,026	1,469	0,487	0,934	1,065	0,883	0,909	0,725	-109	-0,004	17	0,189
17	0,068	-0,046	2,271	0,472	1,363	1,642	0,945	0,933	0,723	-108	-0,003	18	0,181
18	0,072	0,009	2,5	0,462	1,157	1,552	0,923	0,913	0,621	-107	-0,006	19	0,207
19	0,076	0,087	1,987	0,454	0,531	0,823	1,008	0,802	0,414	-106	-0,006	20	0,201
20	0,08	0,053	2,389	0,445	0,327	0,715	1,097	0,809	0,299	-105	-0,011	21	0,205
21	0,084	0,087	5,773	0,435	1,08	2,39	0,995	0,957	0,414	-104	-0,009	22	0,246
22	0,088	0,151	9,304	0,419	2,13	4,336	0,978	0,974	0,466	-103	-0,005	23	0,254
23	0,092	0,198	8,575	0,399	2,548	4,534	0,986	0,97	0,529	-102	-0,004	24	0,251
24	0,096	0,151	5,966	0,374	2,163	3,524	0,992	0,981	0,591	-101	0,006	25	0,222
25	0,1	-0,01	3,493	0,348	1,214	1,955	0,997	0,949	0,56	-100	0,025	26	0,185
26	0,104	-0,036	1,34	0,326	0,371	0,546	1,215	0,774	0,407	-99	0,015	27	0,161
27	0,108	-0,035	0,915	0,309	0,275	0,389	1,565	0,776	0,425	-98	0,007	28	0,137
28	0,112	-0,08	0,931	0,297	0,566	0,551	1,272	0,759	0,592	-97	0,003	29	0,12
29	0,116	-0,05	1,308	0,293	0,716	0,689	1,27	0,712	0,527	-96	-0,008	30	0,116
30	0,12	-0,024	1,824	0,296	0,639	0,788	1,282	0,73	0,432	-95	-0,004	31	0,127
31	0,124	0,044	1,308	0,305	0,377	0,455	1,062	0,647	0,348	-94	-0,008	32	0,151
32	0,128	0,082	1,051	0,306	0,157	0,245	0,94	0,603	0,233	-93	-0,005	33	0,161
33	0,132	0,011	1,754	0,293	0,194	0,499	1,165	0,855	0,285	-92	0,007	34	0,16
34	0,136	0,021	2,39	0,277	0,398	0,845	0,983	0,866	0,354	-91	0,007	35	0,154
35	0,14	0,04	2,009	0,264	0,489	0,867	0,773	0,874	0,431	-90	0,004	36	0,158
36	0,144	0,058	1,386	0,262	0,379	0,637	0,687	0,879	0,46	-89	0,026	37	0,158
37	0,148	0,016	1,092	0,251	0,196	0,358	0,709	0,774	0,328	-88	0,001	38	0,146
38	0,152	-0,028	1,102	0,238	0,122	0,213	0,979	0,582	0,194	-87	-0,004	39	0,139
39	0,156	-0,006	2,351	0,23	0,33	0,68	1,226	0,772	0,289	-86	-0,012	40	0,136
40	0,16	-0,013	3,911	0,226	0,667	1,451	1,142	0,898	0,371	-85	-0,018	41	0,136
41	0,164	-0,005	4,428	0,235	0,771	1,753	0,961	0,949	0,396	-84	-0,017	42	0,184
42	0,168	0,143	4,432	0,274	0,593	1,56	0,731	0,962	0,352	-83	-0,026	43	0,246
43	0,172	0,154	3,669	0,248	0,318	1,028	0,659	0,952	0,28	-82	-0,017	44	0,229
44	0,176	0,04	2,639	0,21	0,16	0,579	0,954	0,892	0,219	-81	0,014	45	0,22
45	0,18	0,048	2,496	0,179	0,302	0,782	1,217	0,902	0,313	-80	-0,003	46	0,225
46	0,184	0,043	2,586	0,149	0,588	1,171	1,179	0,949	0,453	-79	-0,013	47	0,184
47	0,188	-0,039	2,364	0,117	0,715	1,255	1,061	0,965	0,531	-78	-0,018	48	0,149
48	0,192	-0,068	1,738	0,092	0,589	0,963	0,969	0,951	0,554	-77	-0,034	49	0,13
49	0,196	-0,071	1,114	0,071	0,31	0,501	0,939	0,852	0,45	-76	-0,05	50	0,095
50	0,2	-0,095	0,668	0,054	0,093	0,189	0,815	0,755	0,282	-75	-0,06	51	0,069
51	0,204	-0,083	0,48	0,039	0,087	0,169	1,165	0,825	0,352	-74	-0,058	52	0,052
52	0,208	-0,096	0,874	0,026	0,236	0,421	1,257	0,928	0,482	-73	-0,053	53	0,036
53	0,212	-0,1	1,61	0,016	0,377	0,699	1,06	0,897	0,434	-72	-0,06	54	0,027
54	0,216	-0,074	2,409	0,011	0,402	0,884	0,904	0,898	0,367	-71	-0,067	55	0,025
55	0,22	-0,013	2,22	0,003	0,28	0,696	0,755	0,883	0,314	-70	-0,076	56	0,017
56	0,224	-0,055	1,272	-0,007	0,107	0,287	0,435	0,777	0,225	-69	-0,079	57	0,009
57	0,228	-0,056	1,02	-0,016	0,065	0,114	1,286	0,443	0,111	-68	-0,082	58	0,011
58	0,232	-0,004	1,143	-0,023	0,187	0,332	1,449	0,718	0,291	-67	-0,086	59	0,001
59	0,236	-0,047	0,901	-0,03	0,294	0,43	1,124	0,836	0,478	-66	-0,089	60	-0,009
60	0,24	-0,08	0,749	-0,037	0,256	0,382	0,868	0,874	0,511	-65	-0,082	61	-0,013
61	0,244	-0,056	1,122	-0,044	0,153	0,32	0,854	0,773	0,285	-64	-0,096	62	-0,022
62	0,248	-0,093	1,595	-0,051	0,097	0,299	1,026	0,762	0,188	-63	-0,106	63	-0,032

k	f	r(P)	Sf(P)	r(Q)	Sf(Q)	Sxy	Fxy	Cxy	Gxy	k	r(k)	k	r(k)
63	0,252	-0,11	2,173	-0,057	0,14	0,477	0,949	0,863	0,219	-62	-0,112	64	-0,036
64	0,256	-0,084	3,417	-0,062	0,26	0,861	0,694	0,915	0,252	-61	-0,112	65	-0,04
65	0,26	-0,048	3,685	-0,069	0,312	0,971	0,473	0,906	0,264	-60	-0,113	66	-0,046
66	0,264	-0,044	2,029	-0,074	0,22	0,589	0,288	0,881	0,29	-59	-0,108	67	-0,05
67	0,268	-0,078	0,942	-0,078	0,103	0,26	0,251	0,834	0,276	-58	-0,092	68	-0,057
68	0,272	-0,06	1,004	-0,079	0,063	0,187	0,575	0,744	0,186	-57	-0,108	69	-0,048
69	0,276	-0,018	1,278	-0,081	0,121	0,282	0,958	0,716	0,22	-56	-0,113	70	-0,045
70	0,28	-0,076	1,422	-0,083	0,238	0,462	1,064	0,795	0,325	-55	-0,091	71	-0,065
71	0,284	-0,092	1,167	-0,085	0,276	0,483	1,131	0,851	0,414	-54	-0,076	72	-0,074
72	0,288	-0,093	1,12	-0,085	0,203	0,396	1,224	0,831	0,354	-53	-0,111	73	-0,08
73	0,292	-0,072	0,984	-0,084	0,104	0,249	1,313	0,779	0,253	-52	-0,121	74	-0,086
74	0,296	-0,071	0,555	-0,086	0,051	0,112	1,28	0,661	0,201	-51	-0,126	75	-0,092
75	0,3	-0,082	0,968	-0,086	0,098	0,272	1,124	0,883	0,281	-50	-0,132	76	-0,092
76	0,304	-0,075	2,079	-0,085	0,215	0,648	1,024	0,969	0,312	-49	-0,135	77	-0,093
77	0,308	-0,047	2,522	-0,083	0,276	0,801	0,843	0,96	0,318	-48	-0,136	78	-0,092
78	0,312	-0,059	1,785	-0,079	0,212	0,576	0,597	0,937	0,323	-47	-0,133	79	-0,09
79	0,316	-0,043	0,783	-0,076	0,096	0,24	0,398	0,874	0,306	-46	-0,118	80	-0,094
80	0,32	-0,053	0,709	-0,071	0,045	0,136	1,038	0,76	0,191	-45	-0,104	81	-0,084
81	0,324	0,02	1,499	-0,064	0,108	0,382	1,178	0,947	0,255	-44	-0,096	82	-0,071
82	0,328	0,002	1,998	-0,065	0,22	0,649	1,144	0,978	0,325	-43	-0,05	83	-0,07
83	0,332	-0,035	1,711	-0,068	0,254	0,636	1,159	0,963	0,372	-42	0,06	84	-0,076
84	0,336	-0,055	1,033	-0,068	0,175	0,339	1,231	0,796	0,328	-41	0,025	85	-0,091
85	0,34	-0,069	0,624	-0,069	0,07	0,086	1,364	0,412	0,138	-40	-0,033	86	-0,098
86	0,344	-0,072	1,026	-0,067	0,04	0,137	0,997	0,674	0,134	-39	-0,041	87	-0,099
87	0,348	-0,05	1,323	-0,066	0,086	0,277	0,986	0,82	0,21	-38	-0,052	88	-0,101
88	0,352	-0,057	0,93	-0,064	0,156	0,313	1,02	0,823	0,337	-37	-0,049	89	-0,095
89	0,356	0	0,798	-0,06	0,195	0,314	0,782	0,796	0,394	-36	-0,008	90	-0,097
90	0,36	-0,017	0,711	-0,061	0,146	0,219	0,328	0,681	0,309	-35	-0,021	91	-0,1
91	0,364	-0,044	0,686	-0,059	0,057	0,084	0,03	0,422	0,122	-34	-0,031	92	-0,088
92	0,368	0,009	1,067	-0,056	0,036	0,121	1,001	0,62	0,114	-33	-0,027	93	-0,074
93	0,372	-0,004	1,377	-0,055	0,073	0,257	1,514	0,812	0,186	-32	0,005	94	-0,077
94	0,376	-0,054	1,953	-0,057	0,131	0,456	-1,491	0,901	0,233	-31	0,037	95	-0,08
95	0,38	-0,027	2,01	-0,058	0,179	0,498	1,45	0,83	0,248	-30	0,019	96	-0,089
96	0,384	-0,053	1,025	-0,059	0,15	0,29	1,191	0,741	0,283	-29	-0,003	97	-0,096
97	0,388	-0,063	0,485	-0,058	0,072	0,117	0,89	0,625	0,24	-28	-0,028	98	-0,102
98	0,392	-0,065	0,504	-0,056	0,031	0,06	0,824	0,481	0,118	-27	-0,043	99	-0,101
99	0,396	-0,041	0,356	-0,054	0,04	0,037	-1,316	0,311	0,105	-26	-0,052	100	-0,089
100	0,4	0,038	0,297	-0,051	0,081	0,066	-1,311	0,423	0,222	-25	-0,054	101	-0,081
101	0,404	0,037	0,491	-0,051	0,12	0,069	0,958	0,284	0,14	-24	-0,024	102	-0,082
102	0,408	-0,013	0,678	-0,051	0,104	0,061	-0,072	0,231	0,09	-23	0,045	103	-0,079
103	0,412	-0,009	0,734	-0,051	0,047	0,062	-0,486	0,331	0,084	-22	0,05	104	-0,08
104	0,416	-0,022	0,717	-0,051	0,02	0,053	0,45	0,445	0,074	-21	0,057	105	-0,082
105	0,42	-0,04	0,582	-0,051	0,039	0,085	1,392	0,564	0,147	-20	0,08	106	-0,08
106	0,424	-0,028	0,336	-0,05	0,077	0,091	1,382	0,571	0,272	-19	0,077	107	-0,08
107	0,428	-0,03	0,255	-0,05	0,095	0,076	0,478	0,488	0,298	-18	0,065	108	-0,078
108	0,432	-0,026	0,298	-0,049	0,07	0,069	-0,276	0,478	0,232	-17	0,037	109	-0,078
109	0,436	-0,013	0,238	-0,048	0,029	0,032	-0,864	0,387	0,135	-16	0,035	110	-0,06
110	0,44	0,009	0,19	-0,047	0,02	0,034	-0,118	0,561	0,18	-15	0,018	111	-0,029
111	0,444	0,03	0,214	-0,048	0,049	0,091	0,097	0,892	0,427	-14	0,005	112	-0,037
112	0,448	0,012	0,238	-0,049	0,09	0,11	-0,261	0,753	0,463	-13	0,023	113	-0,05
113	0,452	-0,026	0,251	-0,051	0,102	0,088	-1,133	0,547	0,35	-12	0,08	114	-0,052
114	0,456	-0,017	0,198	-0,05	0,07	0,072	1,157	0,614	0,364	-11	0,101	115	-0,052
115	0,46	-0,014	0,13	-0,049	0,026	0,035	0,726	0,597	0,268	-10	0,123	116	-0,052
116	0,464	-0,006	0,281	-0,049	0,015	0,048	-0,794	0,725	0,17	-9	0,117	117	-0,057
117	0,468	-0,025	0,555	-0,049	0,056	0,114	-1,405	0,649	0,206	-8	0,109	118	-0,061
118	0,472	-0,036	0,612	-0,049	0,112	0,148	1,252	0,565	0,242	-7	0,096	119	-0,062
119	0,476	-0,028	0,538	-0,049	0,132	0,144	0,846	0,539	0,267	-6	0,108	120	-0,052
120	0,48	-0,008	0,551	-0,048	0,108	0,128	0,198	0,524	0,232	-5	0,118	121	-0,04
121	0,484	-0,025	0,443	-0,047	0,053	0,101	-0,429	0,659	0,228	-4	0,119	122	-0,051
122	0,488	-0,025	0,462	-0,046	0,017	0,04	0,306	0,45	0,087	-3	0,131	123	-0,049
123	0,492	0,019	0,81	-0,037	0,053	0,125	0,713	0,607	0,155	-2	0,139	124	-0,026
124	0,496	0,091	0,747	-0,036	0,126	0,18	0,324	0,587	0,241	-1	0,203	125	-0,011
125	0,5	0,041	0,497	-0,039	0,161	0,183	0	0,646	0,368	0	0,461		

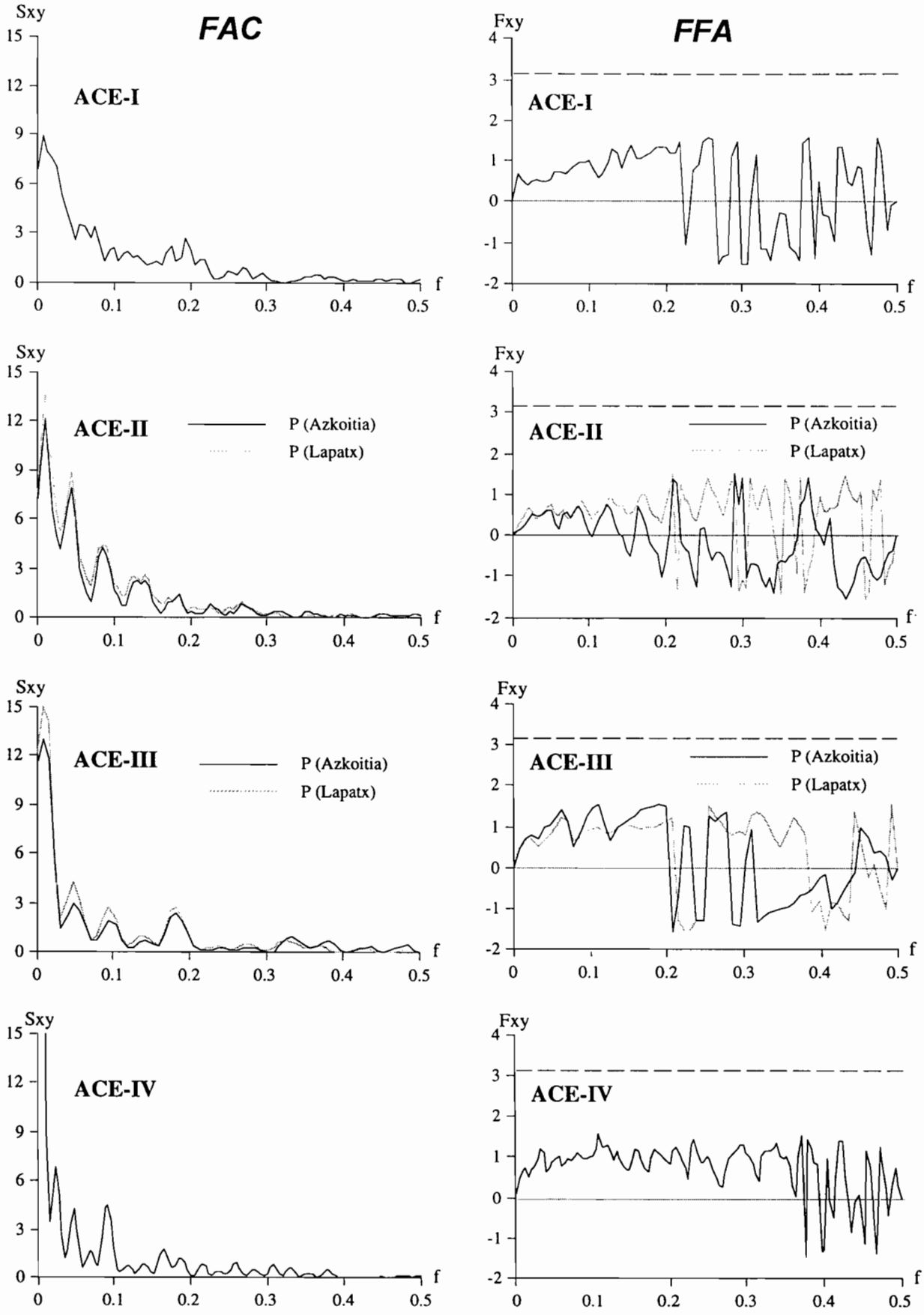
Anexo 4.3.1.(continuación). Resultados numéricos del Análisis correlatorio y espectral. ACE-IV.

Periodo: 1-9-93 a 31-8-94
Duración: 365 días; Paso: 1; Truncamiento: 125; Filtro: Tukey
Precipitación: Ilundain. Media: 2,05; Varianza: 27,15
Caudal lixiviados: Media: 1,08; Varianza: 4,25

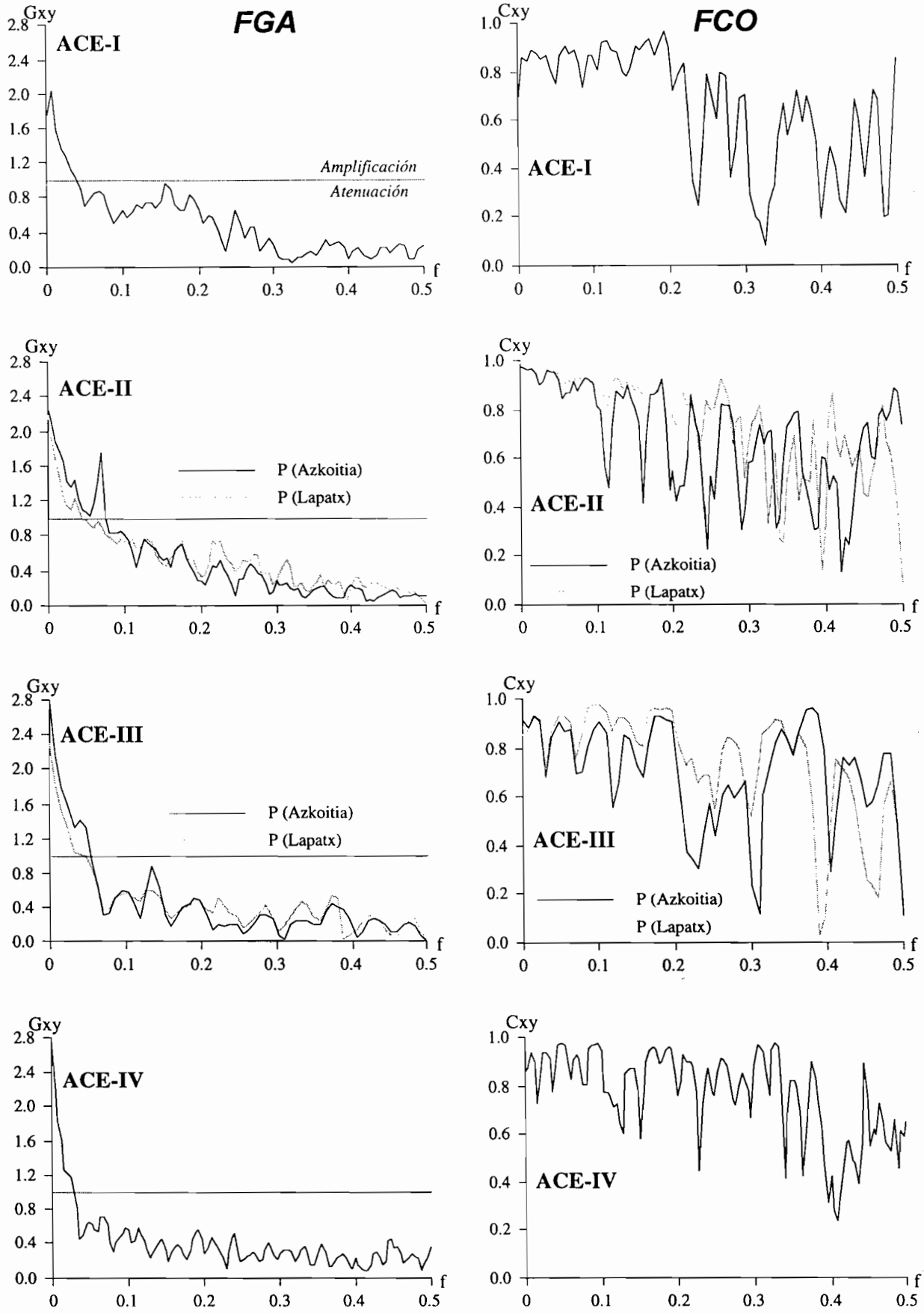
k	f	r(P)	Sf(P)	r(Q)	Sf(Q)	Sxy	Fxy		Gxy	k	r(k)	k	r(k)
0	0	1	2,816	1	22,752	4,319	0	0,54	1,534	-125	0,005	1	0,521
1	0,004	0,374	3,565	0,695	26,625	5,163	0,15	0,53	1,448	-124	-0,015	2	0,302
2	0,008	0,191	6,254	0,557	31,499	10,347	0,244	0,737	1,655	-123	0,001	3	0,204
3	0,012	0,119	6,229	0,465	24,194	10,199	0,382	0,831	1,637	-122	-0,022	4	0,185
4	0,016	0,072	4,816	0,412	11,728	5,336	0,818	0,71	1,108	-121	-0,023	5	0,143
5	0,02	-0,011	6,671	0,382	7,676	5,797	0,702	0,81	0,869	-120	0,058	6	0,125
6	0,024	0,032	6,416	0,373	5,486	5,018	0,389	0,846	0,782	-119	0,032	7	0,12
7	0,028	0,018	5,174	0,348	3,99	3,835	0,024	0,844	0,741	-118	0,011	8	0,12
8	0,032	0,04	4,519	0,332	4,084	3,814	0,077	0,888	0,844	-117	0,034	9	0,101
9	0,036	0,013	3,478	0,316	3,702	3,148	0,308	0,877	0,905	-116	0,019	10	0,075
10	0,04	-0,005	4,037	0,287	4,7	3,996	0,408	0,917	0,99	-115	-0,006	11	0,072
11	0,044	-0,016	4,091	0,285	3,985	3,571	0,557	0,884	0,873	-114	-0,025	12	0,1
12	0,048	0,016	4,638	0,277	3,004	3,016	0,446	0,808	0,65	-113	-0,032	13	0,07
13	0,052	0,014	5,583	0,268	3,171	3,556	0,202	0,845	0,637	-112	-0,058	14	0,087
14	0,056	-0,014	3,806	0,27	2,11	2,317	0,209	0,818	0,609	-111	-0,051	15	0,109
15	0,06	0,003	2,403	0,238	1,971	1,815	0,118	0,834	0,755	-110	-0,03	16	0,072
16	0,064	-0,027	2,997	0,221	3,074	2,699	0,327	0,889	0,901	-109	-0,029	17	0,096
17	0,068	-0,012	3,309	0,212	3,355	3,056	0,535	0,917	0,924	-108	-0,023	18	0,052
18	0,072	-0,061	3,642	0,16	3,682	3,445	0,508	0,941	0,946	-107	0,054	19	0,038
19	0,076	0,001	3,485	0,16	3,413	3,287	0,537	0,953	0,943	-106	0,15	20	0,044
20	0,08	-0,032	3,657	0,118	2,657	2,951	0,481	0,947	0,807	-105	0,087	21	-0,004
21	0,084	-0,017	4,804	0,104	2,711	3,496	0,384	0,969	0,728	-104	0,052	22	0,044
22	0,088	-0,016	4,263	0,125	2,216	2,905	0,352	0,945	0,681	-103	0,085	23	0,024
23	0,092	-0,043	3,625	0,131	2,035	2,408	0,165	0,886	0,664	-102	0,036	24	0,062
24	0,096	0,013	2,914	0,151	1,787	1,959	0,086	0,858	0,672	-101	0,071	25	0,082
25	0,1	0,042	1,717	0,113	1,013	1,039	0,014	0,788	0,605	-100	0,084	26	0,044
26	0,104	-0,011	1,897	0,078	1,326	1,313	0,022	0,828	0,692	-99	0,24	27	0,019
27	0,108	-0,034	1,899	0,064	1,556	1,5	0,216	0,872	0,79	-98	0,188	28	0,047
28	0,112	-0,053	2,113	0,062	1,233	1,276	0,169	0,79	0,604	-97	0,135	29	0,029
29	0,116	-0,062	4,353	0,029	1,689	2,228	0,139	0,822	0,512	-96	0,104	30	0,007
30	0,12	-0,074	5,458	0,029	2,531	3,145	0,262	0,846	0,576	-95	0,145	31	0,003
31	0,124	-0,091	2,871	0,008	2,364	1,999	0,341	0,767	0,696	-94	0,181	32	-0,021
32	0,128	-0,062	1,007	-0,017	1,97	1,123	0,394	0,798	1,116	-93	0,153	33	-0,022
33	0,132	-0,008	1,138	-0,017	1,98	1,338	0,232	0,892	1,176	-92	0,156	34	-0,001
34	0,136	0,114	1,535	-0,035	1,706	1,369	0,273	0,846	0,892	-91	0,117	35	-0,01
35	0,14	0,017	3,035	-0,058	1,398	1,828	0,481	0,888	0,603	-90	0,065	36	-0,02
36	0,144	-0,001	3,543	-0,056	1,149	1,742	0,531	0,864	0,492	-89	0,05	37	-0,064
37	0,148	-0,046	2,793	-0,067	1,117	1,344	0,465	0,761	0,481	-88	0,04	38	-0,087
38	0,152	-0,034	2,501	-0,064	1,169	1,192	0,302	0,697	0,477	-87	0,057	39	-0,075
39	0,156	-0,044	2,132	-0,072	1,265	1,046	0,383	0,637	0,49	-86	0,043	40	-0,074
40	0,16	0,042	1,65	-0,062	1,414	1,233	0,457	0,808	0,748	-85	0,038	41	-0,04
41	0,164	0,038	1,1	-0,051	1,222	1,059	0,35	0,913	0,962	-84	0,057	42	-0,041
42	0,168	0,047	1,801	-0,056	1,499	1,528	0,318	0,93	0,849	-83	0,094	43	-0,048
43	0,172	0,029	2,527	-0,076	1,776	2,005	0,344	0,946	0,794	-82	0,066	44	-0,063
44	0,176	0,002	1,554	-0,079	1,177	1,131	0,486	0,836	0,728	-81	0,027	45	-0,056
45	0,18	-0,017	1,195	-0,064	0,755	0,663	0,551	0,699	0,555	-80	0,025	46	-0,059
46	0,184	-0,009	1,129	-0,08	0,761	0,67	0,352	0,723	0,594	-79	0,028	47	-0,08
47	0,188	-0,08	0,849	-0,091	0,725	0,581	0,441	0,741	0,684	-78	0,006	48	-0,089
48	0,192	-0,044	0,9	-0,095	0,592	0,593	0,53	0,813	0,659	-77	0,006	49	-0,026
49	0,196	0,041	0,992	-0,091	0,551	0,66	0,56	0,892	0,665	-76	0,034	50	-0,058
50	0,2	-0,023	2,104	-0,105	0,874	1,185	0,41	0,874	0,563	-75	0,054	51	-0,06
51	0,204	-0,029	2,801	-0,104	1,033	1,34	0,428	0,788	0,478	-74	0,016	52	-0,063
52	0,208	-0,034	1,62	-0,099	0,779	0,768	0,776	0,683	0,474	-73	0,003	53	-0,066
53	0,212	-0,051	0,767	-0,105	0,979	0,722	0,873	0,833	0,941	-72	-0,035	54	-0,075
54	0,216	-0,032	0,781	-0,102	1,161	0,88	0,662	0,924	1,127	-71	-0,044	55	-0,068
55	0,22	-0,026	0,842	-0,095	0,856	0,766	0,521	0,902	0,91	-70	-0,026	56	-0,071
56	0,224	-0,055	1,289	-0,105	0,766	0,895	0,407	0,9	0,694	-69	-0,028	57	-0,062
57	0,228	0,003	1,467	-0,096	0,595	0,841	0,574	0,9	0,573	-68	-0,036	58	0,024
58	0,232	0,072	1,264	-0,072	0,376	0,474	0,659	0,688	0,375	-67	-0,056	59	-0,021
59	0,236	0,031	1,764	-0,096	0,527	0,536	0,313	0,556	0,304	-66	-0,064	60	-0,049
60	0,24	-0,042	2,785	-0,11	0,83	1,179	0,476	0,775	0,423	-65	-0,044	61	-0,072
61	0,244	-0,039	2,371	-0,111	0,879	1,264	0,493	0,875	0,533	-64	-0,047	62	-0,071
62	0,248	-0,055	1,293	-0,112	0,749	0,838	0,507	0,852	0,648	-63	-0,088	63	-0,075

k	f	r(P)	Sf(P)	r(Q)	Sf(Q)	Sxy	Fxy	Cxy	Gxy	k	r(k)	k	r(k)
63	0,252	-0,06	1,195	-0,118	0,654	0,784	0,601	0,887	0,656	-62	-0,088	64	-0,056
64	0,256	-0,045	1,018	-0,079	0,514	0,649	0,678	0,897	0,637	-61	-0,063	65	-0,041
65	0,26	-0,019	1,663	-0,082	0,668	0,942	0,763	0,894	0,567	-60	-0,066	66	-0,038
66	0,264	-0,056	2,071	-0,088	0,795	1,113	0,638	0,868	0,538	-59	-0,063	67	-0,068
67	0,268	-0,051	1,319	-0,099	0,519	0,614	0,599	0,742	0,466	-58	-0,027	68	-0,059
68	0,272	-0,034	1,485	-0,083	0,449	0,638	0,552	0,781	0,429	-57	-0,031	69	-0,045
69	0,276	-0,011	1,463	-0,081	0,483	0,766	0,384	0,911	0,523	-56	-0,079	70	-0,037
70	0,28	-0,034	1,071	-0,073	0,377	0,586	0,5	0,922	0,548	-55	-0,039	71	-0,043
71	0,284	-0,03	1,13	-0,076	0,419	0,518	0,808	0,753	0,459	-54	-0,045	72	-0,052
72	0,288	-0,053	1,447	-0,075	0,699	0,777	0,875	0,772	0,537	-53	-0,065	73	-0,014
73	0,292	-0,031	1,689	-0,04	0,89	0,901	0,908	0,735	0,534	-52	-0,063	74	-0,024
74	0,296	-0,007	1,326	-0,036	0,685	0,372	1,452	0,39	0,28	-51	-0,053	75	0,062
75	0,3	0,071	0,999	0,006	0,433	0,2	-0,903	0,303	0,2	-50	-0,067	76	0,019
76	0,304	0,005	1,159	-0,016	0,478	0,34	1,302	0,457	0,294	-49	-0,032	77	0,012
77	0,308	0,034	1,598	-0,038	0,595	0,572	1,017	0,586	0,358	-48	-0,035	78	-0,03
78	0,312	-0,025	1,445	-0,045	0,579	0,65	0,718	0,71	0,45	-47	-0,055	79	-0,011
79	0,316	-0,029	0,928	-0,032	0,416	0,354	0,812	0,569	0,381	-46	-0,043	80	-0,011
80	0,32	-0,038	1,562	-0,023	0,33	0,267	1,149	0,372	0,171	-45	0,005	81	-0,016
81	0,324	-0,039	2,498	-0,018	0,628	0,777	0,837	0,621	0,311	-44	-0,022	82	-0,021
82	0,328	-0,032	2,155	-0,02	0,794	1,01	0,727	0,772	0,469	-43	-0,015	83	0,067
83	0,332	0,086	1,267	0,018	0,563	0,602	0,556	0,713	0,475	-42	0,023	84	0,032
84	0,336	0,059	0,584	-0,003	0,429	0,242	0,697	0,483	0,414	-41	0,02	85	0,011
85	0,34	-0,024	0,36	-0,017	0,366	0,158	0,876	0,435	0,438	-40	0,029	86	-0,014
86	0,344	-0,039	1,024	-0,026	0,428	0,455	0,363	0,687	0,445	-39	-0,016	87	-0,003
87	0,348	-0,004	1,683	-0,013	0,498	0,716	0,513	0,782	0,425	-38	-0,026	88	-0,009
88	0,352	-0,017	1,338	-0,004	0,464	0,549	0,542	0,697	0,41	-37	-0,019	89	-0,003
89	0,356	-0,042	0,961	0,004	0,784	0,528	0,367	0,608	0,549	-36	-0,001	90	0,019
90	0,36	-0,024	1,1	0,021	0,986	0,606	0,612	0,582	0,551	-35	-0,007	91	0,037
91	0,364	0,048	1,215	0,033	0,822	0,676	1,082	0,677	0,556	-34	0,023	92	0,163
92	0,368	0,126	1,287	0,125	0,733	0,724	1,341	0,746	0,563	-33	-0,024	93	0,226
93	0,372	0,139	1,299	0,118	0,588	0,544	1,407	0,623	0,419	-32	-0,035	94	0,201
94	0,376	0,134	0,961	0,157	0,344	0,27	1,373	0,469	0,281	-31	-0,067	95	0,234
95	0,38	0,139	0,626	0,15	0,266	0,076	0,347	0,186	0,121	-30	-0,065	96	0,188
96	0,384	0,068	0,763	0,114	0,269	0,248	-0,79	0,548	0,325	-29	-0,061	97	0,171
97	0,388	0,068	0,829	0,125	0,196	0,203	-1,181	0,502	0,244	-28	-0,062	98	0,171
98	0,392	0,1	0,618	0,126	0,208	0,04	0,422	0,11	0,064	-27	-0,049	99	0,202
99	0,396	0,193	0,52	0,123	0,291	0,178	0,615	0,457	0,342	-26	-0,029	100	0,142
100	0,4	0,048	0,675	0,068	0,354	0,416	0,673	0,852	0,617	-25	-0,017	101	0,097
101	0,404	-0,008	0,975	0,061	0,313	0,406	0,487	0,735	0,416	-24	0,022	102	0,073
102	0,408	-0,025	1,299	0,041	0,367	0,509	0,111	0,736	0,392	-23	-0,006	103	0,082
103	0,412	0,054	1,548	0,046	0,604	0,82	0,463	0,848	0,529	-22	-0,007	104	0,093
104	0,416	0,025	1,321	0,055	0,563	0,732	0,727	0,849	0,554	-21	-0,03	105	0,089
105	0,42	0,042	0,835	0,045	0,639	0,452	0,883	0,619	0,541	-20	-0,059	106	0,119
106	0,424	0,112	0,719	0,077	0,785	0,395	0,647	0,525	0,549	-19	-0,036	107	0,136
107	0,428	0,086	0,576	0,064	0,483	0,198	0,63	0,376	0,344	-18	-0,049	108	0,09
108	0,432	-0,005	0,464	0,01	0,359	0,225	1,286	0,552	0,485	-17	-0,046	109	0,073
109	0,436	-0,019	0,43	-0,018	0,361	0,198	1,22	0,502	0,46	-16	-0,05	110	0,055
110	0,44	-0,011	0,595	-0,041	0,26	0,097	0,681	0,246	0,163	-15	-0,023	111	0,033
111	0,444	-0,002	0,868	-0,045	0,328	0,274	0,244	0,513	0,315	-14	-0,014	112	0,025
112	0,448	-0,078	0,778	-0,05	0,351	0,364	0,131	0,697	0,468	-13	0,002	113	0,016
113	0,452	-0,042	0,821	-0,061	0,459	0,481	0,259	0,783	0,586	-12	0,029	114	0
114	0,456	-0,046	0,673	-0,056	0,524	0,417	0,453	0,702	0,62	-11	0,023	115	0,015
115	0,46	0,013	0,501	-0,046	0,37	0,237	0,589	0,55	0,472	-10	-0,001	116	0,017
116	0,464	-0,027	1,139	-0,033	0,584	0,576	0,255	0,706	0,506	-9	0,012	117	0,022
117	0,468	0,052	1,78	-0,023	0,803	0,866	0,361	0,725	0,487	-8	0,019	118	0,02
118	0,472	0,012	1,915	-0,024	0,534	0,595	0,469	0,588	0,311	-7	0,001	119	0,01
119	0,476	-0,02	1,932	-0,029	0,367	0,288	-0,514	0,343	0,149	-6	0,008	120	0,019
120	0,48	0,031	1,5	-0,013	0,432	0,353	-0,778	0,439	0,236	-5	0,001	121	0,057
121	0,484	-0,039	0,732	0,017	0,396	0,294	-0,042	0,546	0,402	-4	0,041	122	0,022
122	0,488	-0,058	0,469	-0,037	0,356	0,282	0,116	0,689	0,6	-3	0,066	123	0,012
123	0,492	-0,014	1,208	-0,042	0,433	0,576	0,056	0,796	0,477	-2	0,169	124	0,004
124	0,496	-0,017	1,453	-0,054	0,507	0,633	0,12	0,738	0,436	-1	0,239	125	0,005
125	0,5	-0,033	1,042	-0,046	0,519	0,408	0	0,555	0,392	0	0,621		

Anexo 4.3.1.(continuación). Resultados numéricos del Análisis correlatorio y espectral. ACE-Góngora.



Anexo 4.3.2. Resultados gráficos del Análisis correlatorio y espectral. Funciones de amplitud cruzada (FAC) y de fase (FFA). Vertedero de Lapatx.



Anexo 4.3.2. Resultados gráficos del Análisis correlatorio y espectral. Funciones de ganancia (FGA) y coherencia (FCO). Vertedero de Lapatx.

Anexo 4.4.: Fundamento del cálculo de la evapotranspiración potencial y de la percolación a intervalos de 30 minutos en el vertedero de R.S.U. de Lapatx.

Se dispone de datos meteorológicos tomados cada 12 minutos en la estación meteorológica automática situada en el propio vertedero (estación Lapatx) y los registrados cada 10 minutos en la estación meteorológica automática del Servicio Vasco de Meteorología (SVM/MEZ) situada a unos 3 km (estación Azpeitia).

Para la realización del balance hídrico se ha elegido un periodo de tiempo durante el cual ha existido un registro continuo de caudales y variables meteorológicas. El periodo elegido ha sido de Septiembre de 1994 a Enero de 1995. En principio, lo correcto sería utilizar los datos meteorológicos registrados en el propio vertedero, sin embargo, al comparar estos datos con los registrados en la estación de Azpeitia del SVM/MEZ para ver la calidad de los datos se han puesto en evidencia varios problemas:

- Durante este periodo los datos de humedad relativa en Lapatx muestran un valor constante e igual a 99% por lo que son claramente erróneos. Mientras que en Azpeitia siguen un ciclo diario normal.

- La radiación solar global en Lapatx al ser medida con una célula de silicio es menor que la real ya que la célula de silicio no es capaz de absorber ciertas longitudes de onda y su uso no es recomendado por la WMO (1969). Para medir la radiación solar global, las células de silicio sólo son útiles para usos agrarios ya que las longitudes de onda que miden son las mismas que las que utilizan las plantas. La estación de Azpeitia mide la radiación solar global mediante un piranómetro (aparato recomendado por la WMO, 1969) para realizar estas mediciones.

- La velocidad del viento registrada en Lapatx suele mostrar con mucha frecuencia y durante largos periodos valores de 0 m/s pero simultáneamente la dirección del viento registrada es muy variable por lo que no se han considerado como válidos los valores de velocidad del viento registrados en Lapatx en este periodo.

- Los datos de temperatura son básicamente idénticos en ambas estaciones. Sólo hay alguna desviación 7 noches por efecto "isla de calor" en la estación de Azpeitia, por lo que para calcular la evaporación puede utilizarse cualquiera de las dos.

- Los datos de precipitación se han de tomar de la estación de Lapatx dada la gran variabilidad espacio-temporal que presenta este parámetro.

Estimación de la evapotranspiración potencial por el método de Penman-Brutsaert

Se denominan *ecuaciones de combinación* a aquellos métodos para la estimación de la evaporación (E, mm/dt) que presentan la siguiente forma general (Penman, 1948):

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} A + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$$

donde:

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor saturado para la temperatura del aire (en kPa/°C).

γ = coeficiente psicrométrico (en kPa/°C).

A = energía disponible para el proceso de evaporación (en mm/dt).

E_a = poder evaporante del aire (en mm/dt).

Se llaman ecuaciones de combinación porque incluyen dos términos:

- Un primer término, *término energético*, (A) que incluye la energía disponible para ser utilizada en el proceso de evaporación: radiación neta (R_n), flujo de calor del suelo (G), almacenamiento de calor,...

- Un segundo término, *término aerodinámico*, que describe de modo empírico el mecanismo de difusión por el cual la energía es removilizada desde la superficie en forma de vapor de agua o la capacidad de la atmósfera para transportar el vapor de agua. Depende fundamentalmente del viento y del déficit de presión de vapor ($D = e_s - e_a$) existente en la atmósfera.

Las diferentes ecuaciones de combinación que se han formulado difieren en la forma en que calculan el poder evaporante del aire (E_a).

• Los valores de las variables meteorológicas medidas se integran cada 30 minutos y a continuación de realizan los siguientes cálculos:

A partir de la temperatura y humedad relativa se ha calculado la presión de vapor saturado según Tetens (1930), el calor latente de vaporización según Harrison (1963), la densidad del agua según Thiessen *et al.* y el calor específico del aire a presión constante según Brutsaert (1982). Otros parámetros que también son calculados son: la pendiente de la curva de presión de vapor saturado, la humedad específica real y la saturada y el coeficiente psicrométrico. La presión atmosférica se ha estimado a partir de la cota de la estación según una ecuación ajustada a datos locales por Luengo *et al.* (1997).

Para el cálculo del balance de radiación o radiación neta es necesario calcular en primer lugar la radiación solar global correspondiente a un día despejado en función de la latitud y longitud de la estación y del día del año y hora. Luengo *et al.* (1997) determinan que los valores más precisos se obtienen utilizando una constante solar de 1372 W/m^2 (IGN, 1994), calculando la declinación solar según Burman & Jacquot (citado en Burman & Pochop, 1994) y la ecuación de tiempo según IGN (1994). Finalmente, por trigonometría esférica se determina la posición del sol sobre el horizonte y mediante la Ley del coseno de Lambert y la variación de la distancia relativa Tierra-Sol según IGN (1994) se calcula la radiación extraterrestre. De esta última, la atmósfera deja pasar un 75%, que es la radiación solar global correspondiente a un día despejado. Comparando ésta con la radiación solar global medida se obtiene el factor de nublado. El valor medio del factor de nublado desde el mediodía hasta la puesta del sol local (por la presencia de montañas) se utiliza como valor del factor de nublado para la noche. Como el vertedero está cubierto de escorias de fundición más o menos oxidadas y húmedas se ha tomado un valor constante para el albedo de 0.10 y una emisividad del suelo de 0.98. La emisividad atmosférica se calcula según Brutsaert (1975). La radiación emitida de onda larga se halla según la ley de Stefan-Boltzmann. Todo ello permite calcular la radiación neta (R_n).

A falta de medidas del flujo de calor de suelo (G) se ha considerado que es un 10% de la R_n Brutsaert (1982).

Cuando se desea realizar una estimación de la evaporación en periodos cortos (< 1 hora), la estabilidad atmosférica juega un papel importante y debe ser tenida en cuenta en la formulación del termino aerodinámico (E_a) de la ecuación de combinación. Brutsaert (1982) sugiere que E_a (en W/m^2) sea formulado en base a la teoría de la similitud de la capa de superficie de Monin & Obukhov (1954) como:

$$E_a = \frac{k \cdot u_* \cdot \rho \cdot (q_{as} - q)}{\left[\ln\left(\frac{z_a - d_o}{z_{ov}}\right) - \psi_v\left(\frac{z - d_o}{L}\right) \right]}$$

donde:

k = constante de von Kármán (sin dimensiones); k = 0.40.
u_* = velocidad de fricción (en m/s).
ρ = densidad del aire (en kg/m^3).
q = humedad específica del aire (sin dimensiones).
q_s = humedad específica del aire saturado a la temperatura T (sin dimensiones).
z = altura (en m) sobre la superficie del suelo a la que se mide la velocidad del viento.
z_{ov} = alcance de la rugosidad (en m).
d_{ov} = altura de desplazamiento nulo para el vapor de agua (en m).
ψ_v = función de corrección de la estabilidad de Monin-Obukhov (sin dimensiones).
L = longitud de Obukhov (en m).

El valor de E_a no puede ser expresado de forma explícita en función de las variables medidas (R_n, G, U_z, HR, T y z_o) pero el sistema de ecuaciones puede ser resuelto de modo iterativo (Katul & Parlange, 1992) lo que permite obtener además los valores de Ep, H, L y u^*. El sistema es inicializado asumiendo condiciones de estabilidad neutra ($\psi_v = 0$, L = 100) en el primer paso y posteriormente corrigiendo la estabilidad atmosférica en pasadas sucesivas hasta que la estimación del valor de E_a converge con una precisión de 1 W/m^2, en general, tras 5 iteraciones.

Otros parámetros que necesitan ser calculados son la viscosidad cinemática del aire según Stannard (1993), el número de Reynolds rugoso, el alcance de la rugosidad para el flujo de calor sensible y el flujo de calor latente según Brutsaert (1982), y las funciones de estabilidad de Monin-Obukhov para el flujo del momento y del calor sensible según las ecuaciones de Businger-Dyer. Dada la latitud y cota se utilizado una aceleración de la gravedad de 9.80 m/s^2.

Este método de cálculo ya ha sido aplicado para el cálculo de la evaporación en vertederos (Bendz & Bengtsson, 1996).

Cálculo del balance hídrico en el suelo

Una vez que se calcula la evaporación potencial cada 30 min. se realiza el balance hídrico en el suelo cada 30 min. siguiendo el método habitual (Custodio & Llamas, 1983). Se considera que en suelos desnudos la evaporación sólo se puede producir en los 50 cm más superficiales. Partiendo de valores de los parámetros hidráulicos que se encuentran en la bibliografía para materiales similares a los depositados en el vertedero, se ha considerado el siguiente caso:

- RSU formados por materiales tamaño arena con finos con una capacidad de campo = 0.083 vol/vol = 8.3% = 83 mm/m^2 y una conductividad hidráulica saturada = 0.0031 cm/s junto con cenizas volantes de incineración con una capacidad de campo = 0.116 vol/vol = 11.6% = 116 mm/m^2 y una conductividad hidráulica saturada = 0.01 cm/s (Schroeder *et al.*, 1994). Luego para los 50 cm más superficiales se ha considerado una capacidad de campo = 50 mm/m^2 y una conductividad hidráulica saturada = 117 mm/m^2 30 minutos.

Como condiciones iniciales de humedad del suelo se ha considerado que, tras el verano,

en septiembre de 1994, el suelo se encontraba totalmente seco.

El programa que realiza estos cálculos ha sido escrito en TURBO PASCAL 4 por Luengo *et al.* (1997).

Bibliografía

BENDZ, D. & BENGTSSON, L. (1996): "Evaporation from an active, uncovered landfill". J. Hydrol. vol. 182. pp. 143-155.

BRUTSAERT, W. (1975): "On aderivable formula for long wave radiation from clear skies". Water Resources Research, vol. 11, pp. 742-744.

BRUTSAERT, W. (1982): "Evaporation into the atmospher," D. Reidel Pub. Co. (Dordrecht, Holand).

BURMAN, R. & POCHOP, L. O. (1994): "Evaporation, evapotranspiration and climatic data". Developments in Atmosferic Science nº 22. 278 pp. Ed. Elsevier (Amsterdam).

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. (1983)."Hidrología Subterránea". Editorial Omega. Barcelona. 2350 pp.

HARRISON, L.P. (1963): "Fundamental conceps and definitions relating to humidity". En A. Wexler, ed., Humidity and Moisture, Vol 3, pp. 3-80. Reinhold Publishling Co (New York).

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (1994): "Anuario del observatorio astronómico de Madrid para 1995". 288 pp. Ed. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

KATUL, G.G. & PARLANGE, M.B. (1992): "A Penman-Brutsaert model for wet surface evaporation". Water Resour. Res., vol. 28, nº 1, pp. 12-126.

LUENGO, C; GONZALO, J.M. & ANTIGUEDAD, I. (1997): "Metodologías para la estimación de la evaporación en estaciones meteorológicas automáticas. Aplicación a la red meteorológica primaria de la Comunidad Autónoma Vasca". Informe para el Servicio Vasco de Meteorología del Gobierno Vasco. Inédito.

MONIN, A.S. & OBUKHOV, A.M. (1954): "The basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere". Tr. Geofiz. Inst. Akan. Nauk. USSR Acad. Sci. 151, nº 24: pp. 163-187.

PENMAN, H.L. (1948): "Natural evaporation from open water, bare soil and grass". Proc. R. Soc. London, vol. A193, pp. 120- 145.

SCHROEDER, P.R.; DOZIER, T.R.; ZAPPI, P.A.; McENROE, B.M.; SJOSTROM, J.W. & PEYTON, R.L. (1994)."The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model: Engineering Documentation for Version 3". EPA/600/9-94, U.S. Environmental Protection Agency Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH.

STANNARD, D.I. (1993): "Comparasion of Penman-Monteith, Shuttleworth-Wallance and modified Priestley-Taylor evapotranspiration models for wildland vegetation in semiarid rangeland". Water Resour. Res., vol. 29, nº 5, pp. 1379-1392.

TETENS, O. (1930): "Über einige meteorologische Begriffe". Z. Geophus., vol. 6, pp. 203-204.

WMO (1969): "Guide to meteorological instruments and observing practices". WMO 8TP.3. (Geneva Swittzerland) y sucesivas actualizaciones.

ANEXOS

CAPÍTULO 6

Anexo 6.1. Análisis considerados en este estudio y procedencia de los mismos.
Anexo 6.2. Técnicas analíticas empleadas en el laboratorio de Osakidetza (Donostia-San Sebastián), arriba, y en el del CTRSU de Góngora (Navarra), abajo.
Anexo 6.3. Técnicas analíticas empleadas en los laboratorios LABEIN.
Anexo 6.4. Determinaciones físico-químicas de lixiviados.
- **Anexo 6.4.1.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Lapatx.
- **Anexo 6.4.2.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de San Marcos.
- **Anexo 6.4.3.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Petritegi.
- **Anexo 6.4.4.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Ventas.
- **Anexo 6.4.5.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Urteta.
- **Anexo 6.4.6.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Sasieta.
- **Anexo 6.4.7.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de San Blas.
- **Anexo 6.4.8.** Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Góngora.

Anexo 6.5. Matrices de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson).
- **Anexo 6.5.1.** Matrices de correlación. Vertedero de Lapatx (arriba) y San Marcos (abajo).
- **Anexo 6.5.2.** Matrices de correlación. Vertedero de Petritegi (arriba) y Ventas (abajo).
- **Anexo 6.5.3.** Matrices de correlación. Vertedero de Urteta (arriba) y Sasieta (abajo).
- **Anexo 6.5.4.** Matrices de correlación. Vertedero de San Blas (arriba) y Góngora (abajo).
- **Anexo 6.5.5.** Matriz de correlación. Considerando los 7 vertederos de Gipuzkoa.

Anexo 6.6. Histogramas de frecuencia para las principales variables consideradas.

	S MARCOS	LAPATX	PETRITEGI	VENTAS	URTETA	SASIETA	S. BLAS
9/1/89	x						
15/2/89	*			*			
13/3/89	x						
3/4/89	x						
21/4/89	x						
9/5/89		x					
22/5/89	x						
9/6/89	x						
12/6/89	x						
22/6/89			x				
30/6/89	x						
5/7/89		x					
16/8/89		x					
28/9/89				*	*		
2/10/89	x						
3/10/89	*	x					
19/10/89		*					
24/10/89			x				
31/10/89	x	x					
8/11/89	*	*		*	*		
16/11/89			x				
27/11/89	x						
28/11/89			x	x			
11/12/89			x	x			
13/12/89		x					
14/12/89		*					
2/1/90	*			*	*		
9/1/90		x					
15/1/90			x	x			
30/1/90	x						
5/2/90			x	x			
14/2/90		x					
15/2/90		*			*		
19/2/90	x			x			
22/2/90	x						
12/3/90			x	x			
21/3/90			x	x			
28/3/90	x	x		x			
29/3/90		x					
4/4/90	x	x		x			
25/4/90	x			x			
4/5/90		x					
8/5/90	x	x	x	x			
21/5/90	x	x	x	x			
7/6/90	x	x	x	x			
21/6/90	x	x	x	x			
16/7/90	x	x	x	x	x		
1/8/90	x	x	x	x	x		
16/8/90	x	x	x	x	x		
11/9/90	x	x	x	x	x		
25/9/90					x		
10/10/90					x		
23/10/90	x	x		x	x		
7/11/90	x	x	x	x	x		
20/11/90	x	x	x	x	x		
3/12/90					x		
4/12/90	x	x	x	x	x		
18/12/90	x	x	x	x	x		
9/1/91	x	x	x	x	x		
30/1/91	x	x	x	x	x		
12/2/91	x	x	x	x	x		
6/3/91	x	x	x	x	x		
25/3/91	x	x	x	x	x		
10/4/91	x	x	x	x	x	x	
22/4/91						x	
23/4/91	x	x	x	x	x		
6/5/91	x		x	x			
7/5/91		x			x	x	
20/5/91	x	x	x	x	x	x	
4/6/91	x	x	x	x	x	x	
18/6/91	x	x	x	x	x	x	
9/7/91	x	x	x	x	x	x	
23/7/91	x	x	x	x	x	x	
28/8/91	x	x	x	x	x		
16/10/91	x	x	x	x	x		
11/2/92				x			
31/3/92	x	x	x	x	x	x	
23/4/92	x	x	x		x	x	
5/5/92	x	x	x	x	x	x	
26/5/92	x	x	x	x	x	x	
17/6/92	x	x	x	x	x	x	
8/7/92	x	x	x	x	x	x	
27/7/92	x		x	x	x	x	
28/8/92	x						
8/9/92	x	x	x	x	x		
15/9/92						x	
13/10/92	x	x	x	x	x		
26/10/92	x	x	x	x	x	x	
5/11/92	±						
10/11/92	x	x	x	x	x	x	
19/11/92	±						
23/11/92	x	x	x	x	x	x	
3/12/92	±						
9/12/92	x	x	x	x	x	x	
17/12/92	±						
21/12/92	x	x	x	x	x	x	

Anexo 6.1. Análisis considerados en este estudio y procedencia de los mismos: x (Lab. Fraisoro); * (LABEIN); ± (F.C.C. - Osakidetza); + (Lab. Góngora).

	S.MARCOS	LAPATX	PETRITEGI	VENTAS	URTETA	SASIETA	S. BLAS
4/1/93	x	x	x	x	x	x	
13/1/93	±						
18/1/93	x	x	x	x	x	x	
28/1/93	±						
1/2/93	x	x	x		x	x	
11/2/93	±						
15/2/93	x	x	x		x	x	
25/2/93	±						
8/3/93			x				
10/3/93	±						
11/3/93	x	x		x	x	x	
15/3/93	x	x	x	x	x		
16/3/93						x	
25/3/93	±						
30/3/93	x	x	x	x	x	x	
7/4/93	±						
14/4/93	x	x	x	x	x	x	
22/4/93	±						
27/4/93	x	x	x	x	x	x	x
6/5/93	±						
11/5/93	x	x	x	x	x	x	x
20/5/93	±						
24/5/93	x	x	x	x	x	x	x
3/6/93	±						
7/6/93	x	x	x	x	x	x	x
17/6/93	±						
21/6/93	x	x	x	x	x	x	x
22/6/93	±						
1/7/93	±						
5/7/93	x	x	x	x	x	x	x
15/7/93	±						
19/7/93	x	x	x	x	x	x	x
29/7/93	±						
2/8/93	x	x	x	x	x	x	x
12/8/93	±						
16/8/93	x	x	x	x	x	x	x
26/8/93	±						
30/8/93	x		x	x	x	x	x
9/9/93	±						
13/9/93	x	x	x	x	x	x	x
23/9/93	±						
27/9/93	x	x	x	x	x	x	x
29/9/93	±						
7/10/93	±						
11/10/93	x	x	x	x	x	x	x
21/10/93	±						
25/10/93	x	x	x	x	x	x	x
4/11/93	±						
8/11/93	x	x	x	x	x	x	x
18/11/93	±						
22/11/93	x	x	x	x	x	x	x
2/12/93	±						
13/12/93	x	x	x	x	x	x	x
17/12/93	±						
30/12/93	±						
3/1/94	x	x	x	x	x	x	x
17/1/94	x	x	x	x	x	x	x
28/1/94	±						
31/1/94	x	x	x	x	x	x	x
10/2/94	±						
14/2/94	x	x	x	x	x	x	x
24/2/94	±						
28/2/94	x	x	x	x	x	x	x
10/3/94	±						
14/3/94	x	x	x	x	x	x	x
24/3/94	±						
5/4/94	x	x	x	x	x	x	x
14/4/94	±						
18/4/94	x	x	x	x	x	x	x
28/4/94	±						
2/5/94	x	x	x	x	x	x	x
12/5/94	±						
16/5/94	x	x	x	x	x	x	x
26/5/94	±						
6/6/94	x	x	x	x	x	x	x
9/6/94	±						
23/6/94	±						
27/6/94	x	x	x	x	x	x	x
7/7/94	±						
11/7/94	x	x	x	x	x	x	x
20/7/94	±						
27/7/94	±						
28/7/94	±						
1/8/94	x	x	x	x	x	x	x
22/8/94	x		x	x	x	x	x
25/8/94	±						
8/9/94	±						
13/9/94	x	x	x		x	x	x
3/10/94	x	x	x	x	x	x	x
6/10/94	±						
21/10/94	±						
25/10/94	x	x	x	x	x	x	x
3/11/94	±						
14/11/94	x	x	x	x	x	x	x
13/12/94	x		x	x	x	x	x
15/12/94	±						
26/12/94	x	x	x	x	x	x	x

	GONGORA
7/1/93	+
11/1/93	+
18/1/93	+
1/2/93	+
4/2/93	+
8/2/93	+
11/2/93	+
10/3/93	+
23/3/93	+
25/3/93	+
29/3/93	+
31/3/93	+
6/4/93	+
10/4/93	+
13/4/93	+
15/4/93	+
20/4/93	+
23/4/93	+
26/4/93	+
27/4/93	+
28/4/93	+
29/4/93	+
10/5/93	+
17/5/93	+
24/5/93	+
31/5/93	+
7/6/93	+
14/6/93	+
21/6/93	+
28/6/93	+
5/7/93	+
12/7/93	+
19/7/93	+
26/7/93	+
2/8/93	+
9/8/93	+
17/8/93	+
23/8/93	+
30/8/93	+
6/9/93	+
13/9/93	+
20/9/93	+
27/9/93	+
4/10/93	+
11/10/93	+
18/10/93	+
25/10/93	+
2/11/93	+
8/11/93	+
15/11/93	+
22/11/93	+
30/11/93	+
7/12/93	+
13/12/93	+
21/12/93	+
27/12/93	+
3/1/94	+
10/1/94	+
17/1/94	+
24/1/94	+
31/1/94	+
7/2/94	+
14/2/94	+
21/2/94	+
28/2/94	+
7/3/94	+
14/3/94	+
21/3/94	+
28/3/94	+
5/4/94	+
11/4/94	+
18/4/94	+
25/4/94	+
2/5/94	+
9/5/94	+
16/5/94	+
23/5/94	+
30/5/94	+
6/6/94	+
13/6/94	+
20/6/94	+
27/6/94	+
5/7/94	+
11/7/94	+
18/7/94	+
26/7/94	+
1/8/94	+
8/8/94	+
18/8/94	+
22/8/94	+
29/8/94	+
5/9/94	+
12/9/94	+
19/9/94	+
26/9/94	+
3/10/94	+
10/10/94	+
17/10/94	+
24/10/94	+
31/10/94	+
9/11/94	+
14/11/94	+
21/11/94	+
28/11/94	+
6/12/94	+
12/12/94	+
19/12/94	+
26/12/94	+

Anexo 6.1. (continuación). Análisis considerados en este estudio y procedencia de los mismos: x (Lab. Fraisoro); * (LABEIN); ± (F.C.C.- Osakidetza); + (Lab. Góngora).

Parámetro	L. detección	Unidades	TECNICA ANALITICA	APARATO UTILIZADO
pH			Potenciometría con electrodo selectivo de membrana de vidrio, compesación de temperatura y lectura referida a 20° C	phmetro CRISON micropH 2002
Conductividad		µS/cm	Conductimetría con compensación de temperatura y lectura referida a 20° C	Conductivímetro CRISON 525
Turbidez	< 0,1	UNF	Nefelometría calibrada con patrones de formacina	Turbidímetro HACH RATIO/XR
S. suspensión	< 1	mg/l	Filtración sobre filtro de fibra de vidrio. Por Gravimetría tras secado en estufa a 105° C hasta pesada constante	
NH4	< 2	mgNH4/l	Destilación por arrastre de vapor y fijación sobre ácido bórico Valoración por volumetría con SO4H2 0,1 N	Unidad de destilación TECATOR 1002
DQO	< 20	mgO2/l	Oxidación con Cr2O7K2 en medio ácido en caliente y volumetría	
DBO5	< 2	mgO2/l	Incubación a 20° C durante 5 días y determinación del O2 consumido por volumetría	

Parámetro	L. detección	Unidades	TECNICA ANALITICA (*)	APARATO UTILIZADO
pH			Potenciometría con electrodo selectivo y con compesación de temperatura	
Conductividad		µS/cm	Conductimetría con compensación de temperatura	Conductivímetro HACH
S. suspensión	< 1	mg/l	Filtración. Por Gravimetría tras secado en estufa a 105° C hasta pesada constante	
NH4	< 2	mg N/l	Destilación por arrastre de vapor y fijación sobre ácido bórico	
N total		mg N/l	Método Kjeldhal	
DQO	< 20	mgO2/l	Métodos de reflujo abierto y reflujo cerrado, titulométrico	
DBO5	< 2	mgO2/l	Incubación en botella cerrada a 20° C durante 5 días	
TOC		mg C/l	Método de combustión-infrarrojo	
IC		mg C/l	Acidificación. Método IR	
Metales	< 0,05	mg/l	Digestión ácida y plasma ICP	
Fósforo		mg/l	Digestión ácida y plasma ICP	

(*) Se utiliza los Standard Methods adecuándolos a las concentraciones convenientes en cada caso.

Anexo 6.2. Técnicas analíticas empleadas en el laboratorio de Osakidetza (Donostia-San Sebastian), arriba, y en el laboratorio del CTRSU de Góngora (Navarra), abajo.

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
pH		Potenciométrica
Conductividad	µS/cm	Conductimetría
Potencial redox	mV	Potenciométrica
Sólidos suspensión	mg/l	Gravimetría previa filtración y secado a 105 °C
DQO	mgO_2/l	Volumetría (método del dicromato)
DBO_5	mgO_2/l	Procedimiento manométrico
NTK	mgN/l	Digestión Kjeldhal y potenciometría con electrodo
$N\text{-}NH_4^+$	$mgNH_4^+/l$	Potenciometría con electrodo selectivo
NO_3^-	mg/l	Reducción con Cd y colorimetría
Ptotal	mg/l	Digestión con persulfato y colorimetría
Cl^-	mg/l	Volumetría (método Volhard)
SO_4^{2-}	mg/l	Gravimetría con sal de Bario
Ca^{2+}	mg/l	Espectrometría de Absorción Atómica con llama
Mg^{2+}	mg/l	Espectrometría de Absorción Atómica con llama
Na^+	mg/l	Espectrometría de emisión de llama
K^+	mg/l	Espectrometría de emisión de llama
Fe	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrometría de Absorción Atómica con llama
Mn	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrometría de Absorción Atómica con llama
Zn	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrometría de Absorción Atómica con llama
Cr	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrometría de Absorción Atómica con llama
Ni	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrometría de Absorción Atómica con llama
Cd	mg/l	Digestión ácida previa. Espectrometría de Absorción Atómica con llama

Anexo 6.3. Técnicas analíticas empleadas en los laboratorios LABEIN.

Nº	Procedencia	LAPATX	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	HCO3	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Temp.
1	Lab.Fraisoro	25/4/88	*6,4*	*1410*		*36*	*57*	*32*			*328*	*141*				< 0,2	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,02*	*0,02*	*< 0,02*													
2	Lab.Fraisoro	9/5/89	6,7	1710	53	31	128	153		0,25	1050	*1600*	< 0,03				15	3,74	0,09	< 0,02	< 0,02	0,06	< 0,02	< 0,1	*0,03*	28,9									
3	Lab.Fraisoro	5/7/89	7,2	3330	33	36	310	49,1		0,63	2480	*1410*	< 0,03	< 0,5		0,81	17,8	5,7	0,29	0,02							*271*								
4	Lab.Fraisoro	16/8/89	7,2	3620	0,3		318	261		0,91	*2750*		< 0,03			2,4	9	5,6	0,21	0,02															
5	Lab.Fraisoro	3/10/89	8	3280	60	40	138	206		0,54	*3990*		< 0,03			0,93	8,3	1,82	0,46	< 0,02															
6	LABEIN	19/10/89	7,9	3428		41	300	239	201		1451	920					5,1	3,2	0,06	< 0,1		< 0,1	< 0,05		0,1	34		245	193	161	72				0,5	
7	Lab.Fraisoro	31/10/89	8,2	2970	24	61	214	200		0,28	790		< 0,03			0,47	6,39	1,69	0,04	< 0,02															
8	LABEIN	8/11/89	7,9	2070		36	250	125	117		1027	800					0,4	1,7	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,05		0,11	21		240	81	150	78				0,5	
9	Lab.Fraisoro	13/12/89	8	2750	12	9,2	242	123		0,44	640	350	< 0,03			0,14	4	1,47	0,04	0,03															
10	LABEIN	14/12/89	7,8	2693		9	280	80	84		669	350					28	1,7	0,09	< 0,1		< 0,1	< 0,05		0,77	35		218	150	98	41				1,7	
11	Lab.Fraisoro	9/1/90	8,1	*582*	27	30	113	60					< 0,03			0,2	2,28	1,03	< 0,02	0,04															
12	Lab.Fraisoro	14/2/90	7,8	974	27	16	68,8	48,6		0,15	206	80	< 0,03	< 0,5		0,42	2,52	0,9	< 0,02	< 0,02															
13	LABEIN	15/2/90	8,1	1206		17	95	28	28		120	55					1,4	0,88	0,17						0,1	42		77	103	71	20				1,7	
14	Lab.Fraisoro	28/3/90	7,9	1210	15	14	107	61,5		0,12	164		< 0,03	< 0,5		0,31	1,58	0,87	< 0,02	< 0,02															
15	Lab.Fraisoro	29/3/90	7,9	1140	9,5	< 5,0	99,1	15,4		0,38	77		< 0,03	0,6		0,26	1,23	0,8	0,03	< 0,02															
16	Lab.Fraisoro	4/4/90	7,9	1200	15	< 5,0	109	81,3		0,10	175		< 0,03	0,6		0,25	2,64	0,89	< 0,02	< 0,02															
17	Lab.Fraisoro	4/5/90	7,9	1970	47	32	167	129		0,22	575		< 0,03	0,9	81,6	0,51	4,7	1,43	0,02	< 0,02															
18	Lab.Fraisoro	8/5/90	7,3	2200	37	10,5	188	64,5		0,61	334		< 0,03	4,4	110	0,61	5,92	1,53	0,04	0,04															
19	Lab.Fraisoro	21/5/90	7,7	2420	32	33,5	220	154		0,45	614	260	< 0,03			0,13	4,03	1,33	0,22	0,016															
20	Lab.Fraisoro	7/6/90	7,3	1670	42	*1160*	139	97,6		0,07	268		< 0,03	1,6	57,6	1,64	1,85	1,72	0,06	0,19															
21	Lab.Fraisoro	21/6/90	7,1	1750	12	10	149	100		0,33	331	47	< 0,03		83,2	0,35	2,98	1,03	0,03	0,013															
22	Lab.Fraisoro	16/7/90	7,2	2070	29	20,5	170	139		0,30	676		< 0,03		84	0,27	2,31	1,01	0,11	0,02															
23	Lab.Fraisoro	1/8/90	7,3	1380	110	64,5	103	84,2		< 0,03	547		< 0,03		58	0,18	3,07	1,32		0,019															
24	Lab.Fraisoro	16/8/90	7,3	3120	40	25	251	207		0,94	594		< 0,03		176	0,78	4,51	5,65	0,04	0,016															
25	Lab.Fraisoro	11/9/90	7,2	2480	46	34	205	97,2		0,45	549		< 0,03			0,86	4,7	4,55	0,06	0,013															
26	Lab.Fraisoro	23/10/90	6,9	1870	200	*1013*	172	*1010*		0,04	970		< 0,03			4,31	8,95	3,9	0,06	0,007															
27	Lab.Fraisoro	7/11/90	6,8	2240	75	52	179	81		< 0,03	1010		< 0,03			1,4	14,2	7,6	0,07	0,017															
28	Lab.Fraisoro	20/11/90	6,9	2360	110		223	206		0,32	1030		< 0,03		150	1,77	18	3,95	0,08	0,028															
29	Lab.Fraisoro	4/12/90	7,4	2400	87	35,5	212	80		0,14	1029		< 0,03		175	1,78	7,5	2,25	0,09	< 0,002			< 0,01	0,01											
30	Lab.Fraisoro	18/12/90	7,7	2500	74	47	196	147			1340				157		0,67	3,9	0,142	0,024			< 0,01	0,028											
31	Lab.Fraisoro	9/1/91	7,6	2280	74	43,5	179	86			882		< 0,03		78,5	2,33	14,6	2,5	0,738	0,013	< 0,01		< 0,01	0,012											
32	Lab.Fraisoro	30/1/91	7,6	2140	60	40	184	53		0,09	595		< 0,03		83,3	0,996	12,2	2,66	0,122	0,016															
33	Lab.Fraisoro	12/2/91	7,7	1610	46	20	127	79,5		1,06	440		< 0,03	< 0,5	55,6	0,71	8,55	2,1	0,08	0,011															
34	Lab.Fraisoro	6/3/91	7,6	1938	56	29	155	125		0,06	377		< 0,03	< 0,5		1,95	8,58	2,58	0,06	0,009															
35	Lab.Fraisoro	25/3/91	6,6	1820	71	61	152	86		0,18	1600		< 0,03		11,7	1,92	20,3	6,45	0,3	0,013															
36	Lab.Fraisoro	10/4/91	6,2	1683	85	38	141	89,5		0,07	943		< 0,03		79,1	0,945	15	5,19	0,08	0,003															
37	Lab.Fraisoro	23/4/91	6,9	1830	95	44	157	110		0,04	550		< 0,03		92,3	0,555	21,5	2,6	0,08	0,001															
38	Lab.Fraisoro	7/5/91	6,3	1790	22	36	124	58,5		*1,89*	1880		< 0,03		252	1,16	17,8	10,7	0,28	0,028															
39	Lab.Fraisoro	20/5/91	7	1760	130	46	136	85		0,06	718		< 0,03		68,9	1,53	12,6	4,15	0,4	0,01															
40	Lab.Fraisoro	4/6/91	7,1	1806	95	41	184	12,1		0,04	849		< 0,03		46,3	< 0,2	6,91	1,52	< 0,1	0,14															
41	Lab.Fraisoro	18/6/91	7,3	1780	87	49	145	113		< 0,03	662		< 0,03		87,7	< 0,2	7,57	1,5	0,03	0,06															
42	Lab.Fraisoro	9/7/91	7,2	2060	300	29	*18,6*	130	122	0,30	823		< 0,03	< 0,5	95,9	0,2	13,4	3,1	< 0,04	< 0,04															
43	Lab.Fraisoro	23/7/91	7,1	2090	250	122	184	154	158	0,31	663		< 0,03	< 0,5	80,4	0,32	19,2	3,5	0,26	0,1															
44	Lab.Fraisoro	28/8/91	7,4	2520	80	31	212	88,2	130	0,05	885		< 0,03		93,7	0,32	9,88	3,36	0,06	0,22															
45	Lab.Fraisoro	16/10/91	7,3	2410	250	45	204	19,4	120	< 0,03	992		< 0,03		108	< 0,2	16,7	4,54	0,14	< 0,04															
46	Lab.Fraisoro	31/3/92	7,4	2110	96	44	233	74	99	0,11	1162	280	< 0,03		75	0,84	23	5,44	0,6	< 0,04															
47	Lab.Fraisoro	23/4/92	7,3	1970	67	25	192	99	115	0,18	492	180	< 0,03		67	0,7	4,88	1,28	0,44	< 0,04															
48	Lab.Fraisoro	5/5/92	7,2	1680	64	22	173	114	106	0,13	140		< 0,03		55		9,22	2,44	0,16	< 0,04															
49	Lab.Fraisoro	26/5/92	7,3	2070	33	96	189	115		0,31	150		< 0,03		60		14,9	2,37	0,22	0,03															
50	Lab.Fraisoro	17/6/92	7,6	2140	25	71	387	154		0,22	333	16	< 0,03		62		9,54	1,9	0,12	< 0,04															
51	Lab.Fraisoro	8/7/92	7,2	1550	28	14	147	88,2		0,13	87	12	< 0,03		52		6,78	1,66	0,04	< 0,04					6,61	34,4									
52	Lab.Fraisoro	8/9/92	8,3	2640	23	14	277	195		0,19	144	17	< 0,03		77		4,39	0,35	0,04	< 0,02					9,23	69,4									
53	Lab.Fraisoro	13/10/92	7,3	2000	72	52	189	131		0,22	364	110	< 0,03		85		13,5	2,4	0,07	< 0,02					< 2,0	26,7									
54	Lab.Fraisoro	26/10/92	7,1	2000	73	41	126	81,5		0,21	228	50	< 0,03		77,3		11,7	2,72	0,22	< 0,04					23,9	39,6									
55	Lab.Fraisoro	10/11/92	7,2	1848	40		134	77	89	0,17	167	30	< 0,03		57,1	1,3	6,66	1,84	0,26	< 0,04															
56	Lab.Fraisoro	23/11/92	7,7	2040	25	30	138	136	104	0,27	145	25	< 0,03		61	2,2	4,62	1,8	0,16	< 0,04					3,3	29,5									
57	Lab.Fraisoro	9/12/92	6,8	1920	46	42	122	127	104	0,38	665	380	< 0,03	< 1	91	0,2	12,8	3,5	0,2	0,08					3,89	53									
58	Lab.Fraisoro	21/12/92	7,3	1700	28	9	139	118		0,42	99	< 20	< 0,03		52		4,02	1,81	0,02	< 0,02					1,81	32,1									

Anexo 6.4.1. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Lapatx. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	LAPATX	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	HCO3	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Temp.
59	Lab.Fraisoro	4/1/93	7,3	1550	20	7	*1420*	100		0,23	95	< 20	< 0,03		50		3,82	1,53	0,03	< 0,02					*63,7*	*372*										
60	Lab.Fraisoro	18/1/93	7,7	1820	24	6	144	142	135	0,20	114	30	< 0,03	< 1	46	0,5	6,84	4,76	0,16	< 0,02					0,17	77,1										
61	Lab.Fraisoro	1/2/93	7,6	1740	58	207	141	118	150	0,08	161	85	< 0,03	< 1	45	1	43,4	2,46	0,18	< 0,04					12,8	40										
62	Lab.Fraisoro	15/2/93	7,6	1780	80	258	160	115	105	0,15	307	90	< 0,03	< 1	45	0,9	109	2,68	0,2	0,04					27	43,1										
63	Lab.Fraisoro	11/3/93	7,1	1650	23	20	101	105	112	0,18	123	50	< 0,03	< 1	47	< 0,2	3,76	1,82	0,12	< 0,04					< 10	43,7										
64	Lab.Fraisoro	15/3/93	7,4	1920	21	9	278	148	188	0,30	101	< 20	< 0,03	< 1	57	0,2	4,54	1,98	0,12	< 0,04					20	122										
65	Lab.Fraisoro	30/3/93	7,5	1930	29	12	177	101	158	0,30	98	< 20	< 0,03	< 1	56	0,28	7,28	1,7	0,16	< 0,04					< 10	< 10										
66	Lab.Fraisoro	14/4/93	7,2	1736	36	46	125	139	116	0,12	135	< 20	< 0,03	< 1	41	0,4	6,22	1,68	0,22	< 0,04					5,7	33,6										
67	Lab.Fraisoro	27/4/93	7,3	1340	32	20	112	96	89	0,14	123	< 20	< 0,03	< 1	35	0,2	6,94	1,42	0,14	< 0,04					< 20	58,7										
68	Lab.Fraisoro	11/5/93	7,3	1950	125	344	137	104	186	0,05	152	20	< 0,03	< 1	53	1,5	81,8	2,18	0,62	0,88					3,07	31,7										
69	Lab.Fraisoro	24/5/93	7,5	1950	45	22	125	107	107	0,17	87	50	< 0,03	< 1	113	0,5	7,54	1,44	0,12	0,04	0,04	0,4	0,1	1,26	9,1	21,3										17,0
70	Lab.Fraisoro	7/6/93	7,7	2360	120	358	168	157	149	0,30	173	100	< 0,03	< 1	52	2,4	128	2,92	0,2	0,14	< 0,04	0,36	0,06	1,54	< 2	24,4										18,0
71	Lab.Fraisoro	21/6/93	7,8	2200	76	53	156	150	139	0,12	126	< 20	< 0,03	< 1	58	0,6	22	2,04	0,12	0,12	0,04	0,4	0,12	0,1	< 2	24,4										17,5
72	Lab.Fraisoro	5/7/93	7,5	2380	28	13	169	166	154	0,15	330	< 20	< 0,03	< 1	60	0,6	6,08	1,74	0,12	< 0,04	0,04	0,38	0,08	0,86	< 2	26,5		148	102	114	47,1					18,0
73	Lab.Fraisoro	19/7/93	7,8	2400	*> 1000*	*1370*	202	192	174	0,52	428	75	< 0,03	< 1	61	1,7	*317*	1,08	0,28	0,08	0,1	0,08	< 0,04	0,4	1,13	19,5	1600	156	108	95,3	42,3					17,7
74	Lab.Fraisoro	2/8/93	7,5	2580	130	341	259	215	187	0,08	227	125	< 0,03	< 1	69	3,4	135	2,78	0,1	0,04	0,04	< 0,04	< 0,04	0,88	< 1	20	1600	171	114	103	46,1					17,4
75	Lab.Fraisoro	16/8/93	7,5	2380	3,5	*1230*	67,7	184	150	0,14	604	67	< 0,03	< 1	75	1	*178*	3,68	1,14	0,64	0,24	0,04	< 0,04	< 0,04	15,2	18,3	1680	154	102	177	43					18,1
76	Lab.Fraisoro	13/9/93	8,1	3000	35	21	256	268	212	0,19	179		< 0,03	< 1		0,3	4,46	1,4	0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 2	14,4	1840	205	142	54,8	51,9					17,0
77	Lab.Fraisoro	27/9/93	7,8	2190	32	30	185	172	139	0,15	158		< 0,03	< 1		0,3	7,68	1,42	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 2	36	1250	142	93,8	76,6	36,5					
78	Lab.Fraisoro	11/10/93	7,5	2960	26	18	258	233	187	0,42	175	34	< 0,03	< 1	83	0,3	6,2	1,78	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 2	30,7	1650	186	127	49,4	49,4	< 0,1				17,8
79	Lab.Fraisoro	25/10/93	7,5	2250	27	18	180	182	143	0,75	145	27	< 0,03	< 1	86	0,5	5,78	1,4	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,08	< 0,04	< 0,04	6,82	35,6	1220	133	95,2	58,5	32,2	< 0,1				14,6
80	Lab.Fraisoro	8/11/93	7,3	2060	32	25	90,2	142	116	0,31	120		< 0,03	< 1	64	0,2	3,84	1,3	0,08	< 0,04	< 0,04	0,8	0,22	0,66	9,89	38,7	1100	108	82,3	80,5	28,3	< 0,1	36			15,7
81	Lab.Fraisoro	22/11/93	7,6	2290	31	23	197	173	147	0,25	138		< 0,03	< 1	65	0,3	7,48	1,66	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,04	< 0,04	< 0,04	10,6	37,7	1280	141	94,8	54,6	38,9	< 0,1	55	2,42		15,0
82	Lab.Fraisoro	13/12/93	7,8	2230	40	35	205	174	152	0,16	67		< 0,03	< 1	66,6	0,28	7,76	1,78	0,06		< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	7,33	35,7	1286	142	98,3	45,2	36,3	< 0,1	39	0,84		
83	Lab.Fraisoro	3/1/94	7,2	2120	80	53	200	204	162	0,22	210	58	< 0,03	< 1	74		11,1	1,54	0,08	0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,1	< 2	26,4	1300	140	99,5	23,9	39,7	< 0,1	137	0,02		16,1
84	Lab.Fraisoro	17/1/94	7,2	1270	29	32	*100*	*78*	72	*0,29*	99	28	< 0,03	< 1	49		4,8	1,06	0,06	< 0,04	< 0,04	0,14	< 0,04	0,08	*4,4*	*31,5*	*686*	*7,22*	*51,8*	*70,4*	*22,5*	< 0,1	46	0,795		15,2
85	Lab.Fraisoro	31/1/94	7,8	2060	45	43	168	154	133	0,34	120	23	< 0,03	< 1	56		17	1,88	0,06	0,06	< 0,04	< 0,04	0,04	0,24	1,18	28,6	1200	137	88	100	39,6	< 0,1	35,2	1,18		14,3
86	Lab.Fraisoro	14/2/94	7,8	1940	26	18	158	142	117	0,27	114		< 0,03	< 1	53	0,8	5,14	1,82	0,06	< 0,04	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	11,5	39,9	1070	121	83	74,4	37,6	< 0,1		1,08		15,3
87	Lab.Fraisoro	28/2/94	7,5	1980	35	172	154	155	123	0,13	129	18	< 0,03	< 1	45	5	32,8	2,4	0,08	< 0,08	< 0,04	0,08	< 0,04	< 0,04	5,02	23,6	1140	123	90,5	96	37,8	< 0,1	33	0,35		15,6
88	Lab.Fraisoro	14/3/94	7,8	1830	56	56	159	144	114	0,15	100	8	< 0,03	< 1	49	1,8	18,2	1,68	0,06	< 0,04	< 0,04	0,28	< 0,04	< 0,04	18,8	27	1040	102	66,8	83,8	33,6	< 0,1	59			14,0
89	Lab.Fraisoro	5/4/94	7	1450	35	65	133	89	79	0,13	119	34	< 0,03	< 1	44	2,6	7,1	1,37	0,11	0,03	< 0,02	0,02	< 0,02		11,8	43,8	778	75,6	47,6	83,4	25,5	0,11		1,2		14,0
90	Lab.Fraisoro	18/4/94	7,2	1560	48	38	103	101	99	0,2	107	< 2	< 0,03	< 1	48	2,5	7,46	1,58	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	13	27,5	878	93,9	51,1	73,1	26,9	< 0,1		0,139		14,0
91	Lab.Fraisoro	2/5/94	7,2	2080	68	110	200	150	127	0,13	154	26	< 0,03	< 1		2,6	10,6	1,73	0,11	0,03	0,02	0,06	< 0,02	< 0,02	< 4	17,6	1160	113	71,9	98,1	39,4	< 0,1	57			17,3
92	Lab.Fraisoro	16/5/94	7,6	1950	87	292	180	136	117	0,13	187	< 4	< 0,03	< 1		8	39	1,82	0,14	0,12	0,03		< 0,02	< 0,02	3,9	26,4	1120	119	76,3	86,2	37,3	< 0,1	43			15,9
93	Lab.Fraisoro	6/6/94	7,7	2150	20	81	128	161	156	0,15	113	11	< 0,03	< 1		0,4	4,93	1,63	0,05	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	8,33	31,4	1240	117	83,1	84,1	41,9	< 0,1	35			15,5
94	Lab.Fraisoro	27/6/94	7,6	1720	20	18	164	118		0,15	102	10	< 0,03	< 1		1,4	3,8	0,86	< 0,02	< 0,02	0,02	0,03	< 0,02	< 0,1	18	64,7	956	96,8	73,2	99,7	34,6	< 0,1	58			16,0
95	Lab.Fraisoro	11/7/94	7,5	2570	52	124	240	209	173	0,26	179	18		< 1		3,6	9,1	1,75	< 0,02	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,4	25,8	1460	138	105	*< 120*	42,5	< 0,1	68			18,0
96	Lab.Fraisoro	1/8/94	7,7	2210	44	37	204	171	138	0,29	137	12		< 1		1,4		1,26	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	7,44	30	1280	139	89	115	38,6	< 0,1				19,8
97	Lab.Fraisoro	13/9/94	7,9	2690	45	32	175	236	186	0,13	173			< 1		0,4	10,3	1,83	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	11,1	18,3	1600	159	117	99,3	53,2	< 0,1				17,5
98	Lab.Fraisoro	3/10/94	7,8	2480	24	12	153	200	171	0,26	140	19		< 1		0,4	4,35	1,6	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	1,47	44,2	1440	152	119	85,5	46,3	< 0,1	32			16,9
99	Lab.Fraisoro	25/10/94	7,7	2380	45	46	170	213	171	0,23	152		< 0,03	< 1	75,7	1,2	14,5	1,5	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	13,1	36,2	1430	157	116	107	46,3	< 0,1	44			16,5
100	Lab.Fraisoro	14/11/94	8	2190	26	16	190	189	152	0,2	130	12	< 0,03	< 1		0,5	5,76	1,56	0,02	< 0,02	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,1	0,57	39,9	1310	164	123	76,5	46,5	< 0,1	101			16,4
101	Lab.Fraisoro	26/12/94	7,4	2430	28	13	175	200	162	0,5	135	< 2	< 0,03	< 1	91	0,48	5,33	1,96	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 2	34,2	1360	76,9	87,1	70,8	44,5	< 0,1				16,9

Anexo 6.4.1.(continuación). Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Lapatx. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	*Procedencia*	*S MARCOS*	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Deterg.	Sulfuros	Temp.
68	Lab.Fraisoro	4/1/93	6,8	4310	34	45	650	428		2,04	1040	430	< 0,03		350		15,8	3,03	0,15	0,04					34,50	139												
69	Lab.Fraisoro	18/1/93	7	4680	39	71	853	433	510	1,48	1025	425	< 0,03		320	0,8	14,4	7,3	0,2	0,02					5,14	61,2												
70	F.C.C.-Osak.	28/1/93	6,7	3474	98	112		238			1000	320																										
71	Lab.Fraisoro	1/2/93	7,2	4090	22	41	863	421	420	1,58	921	290	< 0,03	< 1	362	0,8	12,5	2,78	0,24	0,04					< 4	14,5												
72	F.C.C.-Osak.	11/2/93	6,9	7730	28																																	
73	Lab.Fraisoro	15/2/93	7,1	4600	25	118	985	345	411	0,69	1344	495	< 0,03	< 1	355	0,4	18,2	2,72	0,24	0,1					< 4	< 4												
74	F.C.C.-Osak.	25/2/93	6,7	7590	25	105		504			1000	550																										
75	F.C.C.-Osak.	10/3/93	6,8	5560	40																																	
76	Lab.Fraisoro	11/3/93	6,9	5540	17	79	919	394		2,93	1110	540	< 0,03	< 1	460	0,2	22,8	3,1	0,18	0,14					< 20	< 20												
77	Lab.Fraisoro	15/3/93	6,8	4950	32	49	1220	396	387	2,85	936	340	< 0,03	< 1	384	0,4	18,1	3,76	0,36	0,12					< 10	187												
78	F.C.C.-Osak.	25/3/93	6,7	4870	80	376		340			725	424																										
79	Lab.Fraisoro	30/3/93	6,7	4890	20	54	872	286	408	1,66	919	330	< 0,03	< 1	371	1,1	10,6	2,34	0,22	0,04					< 10	< 10												
80	F.C.C.-Osak.	7/4/93	6,7	5571	33																																	
81	Lab.Fraisoro	14/4/93	6,8	5190	20	34	979	345	444	1,71	982	320	< 0,03	< 1	332	0,4	16,2	2,38	0,26	0,08					< 10	50,8												
82	F.C.C.-Osak.	22/4/93	6,8	6201	22,9	60		405			2000	940																										
83	Lab.Fraisoro	27/4/93	6,3	2350	120	291	362	141	219	0,03	1780	650	< 0,03	< 1	148	6,6	32,6	2,52	0,4	0,1					< 20	132												
84	F.C.C.-Osak.	6/5/93	6,7	5778	367																																	
85	Lab.Fraisoro	11/5/93	7	6270	88	288	1150	380	373	0,53	1200	430	< 0,03	< 1	455		37,6	3,1	0,34	0,12					13,00	37,6												
86	F.C.C.-Osak.	20/5/93	6,6	4140	128	140		252			1400	240																										
87	Lab.Fraisoro	24/5/93	6,9	6070	25	38	962	371	327	0,93	2120	510	< 0,03	< 1	440	1	18,3	2,9	0,22	0,08	0,04	0,52	0,1	0,98	49,20	18,4												18
88	F.C.C.-Osak.	3/6/93	7,1	3276	100																																	
89	Lab.Fraisoro	7/6/93	6,9	6750	20	33	1250	432	402	2,65	967	360	< 0,03	< 1	479	0,5	25,4	4,2	0,2	0,26	< 0,04	0,52	0,16	1,24	< 4	< 4												19,5
90	F.C.C.-Osak.	17/6/93	6,7	6390	65	79		439			1175	330				0,7	10,7	2,5		0,085	< 0,1	0,028		0,015														
91	Lab.Fraisoro	21/6/93	6,9	6780	9,3	21	1250	475	456	3,71	883	420	< 0,03	< 1	507	2,2	18,2	3,38	0,16	0,1	< 0,04	0,44	0,1	0,08	< 4	< 4												
92	F.C.C.-Osak.	22/6/93	6,9	7056		37		486			1250	320																										
93	F.C.C.-Osak.	1/7/93	6,7	6400	35																																	
94	Lab.Fraisoro	5/7/93	6,7	5360	40	91	902	369	318	0,37	1850	1250	< 0,03	< 1	428	1,1	35,4	3,58	0,34	0,04	0,04	0,8	0,16	1,38	< 4	39,5		592	196	216	39,8							17
95	F.C.C.-Osak.	15/7/93	6,6	6201	46	45		407			1200	540																										
96	Lab.Fraisoro	19/7/93	7	5920	22	27	1075	433	380	2,18	1060	415	< 0,03	< 1	474	0,6	15,8	0,78	0,14	0,14	0,08	0,1	< 0,04	< 0,04	< 4	< 4	2320	660	237	143	32,1							18,7
97	F.C.C.-Osak.	29/7/93	6,8	7340	27																																	
98	Lab.Fraisoro	2/8/93	6,8	6430	15	20	1228	500	411	1,23	1030	375	< 0,03	< 1	506	0,5	17,2	3,54	0,38	0,04	0,04	< 0,04	< 0,04	0,36	< 1	< 5	2550	692	236	129	30,6							19
99	F.C.C.-Osak.	12/8/93	6,8	6264	37																																	
100	Lab.Fraisoro	16/8/93	7,1	5720	28	67	1060	427	350	1,43	1150	290	< 0,03	< 1	457	0,6	14,4	3	0,22	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 2	< 2	2360	744	228	164	28,3							19,2
101	F.C.C.-Osak.	26/8/93	6,6	5787	43	70		360			1075	456																										
102	Lab.Fraisoro	30/8/93	7,1	6340	30	53	1180	488	434	1,57	1390	760	< 0,03	< 1	481	1	26,2	3,72	0,12	0,04	0,04	0,06	< 0,04	0,08	3,08	56,6	2600	781	237	190	35,4							17,7
103	F.C.C.-Osak.	9/9/93	6,7	6850	28	40		562			975	530																										
104	Lab.Fraisoro	13/9/93	7	2500	73	310	438	152	154	0,68	818		< 0,03	< 1		1,1	11,6	1,16	0,28	0,08	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 2	5,95	964	267	94,8	57,9	12,6							17,6
105	F.C.C.-Osak.	23/9/93	6,2	2925	164																																	
106	Lab.Fraisoro	27/9/93	7,1	5100	63	88	842	348	283	1,33	3210		< 0,03	< 1		< 0,2	41,6	4,36	0,42	0,08	0,04	0,2	< 0,04	< 0,04	< 4	101	1970	490	182	271	44,6							
107	F.C.C.-Osak.	29/9/93	6,7	6390	339	422		472			1800	816																										
108	F.C.C.-Osak.	7/10/93	6,6	7205	92,4	105		504			3000	*> 1600*																										
109	Lab.Fraisoro	11/10/93	7,2	7980	37	83	1560	594	516	1,56	2220	1360	< 0,03	< 1	474	< 0,2	25,8	4,42	0,24	0,22	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,14	< 8	< 8	3100	882	304	208	50,2	0,51						18,1
110	F.C.C.-Osak.	21/10/93	6,8	5904	79																																	
111	Lab.Fraisoro	25/10/93	6,8	6850	55	123	1190	489	419	1,34	1990		< 0,03	< 1	< 1	1,7	30,6	4,36	0,26	0,14	0,04	0,06	< 0,04	< 0,04	< 8	20,9	2710	683	233	165	39,8	0,38						16,5
112	F.C.C.-Osak.	4/11/93	6,7	6390	339	422		472			1800	816																										
113	Lab.Fraisoro	8/11/93	6,5	4480	110	225	396	277	225	0,20	428		< 0,03	< 1	236	0,8	49	5,16	0,32	0,16	< 0,04	0,14	< 0,04	0,08	< 4	81,8	1750	394	142	147	28,7	0,48	740					15,9
114	F.C.C.-Osak.	18/11/93	6,5	7011	56																																	
115	Lab.Fraisoro	22/11/93	7,1	7110	28	47	1330	531	492	2,60	1340		< 0,03	< 1	612	0,3	19,1	3,58	0,16	0,28	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 8	< 8	2980	860	281	189	42	0,3	467	< 0,01				15,1
116	F.C.C.-Osak.	2/12/93	6,5	4194	103	200		266			1900	928																										
117	Lab.Fraisoro	13/12/93	7	5700	100	358	1170	423	402	0,53	1165		< 0,03	< 1	390	1,04	19,8	3,28	0,3	0,34	0,04	0,08	< 0,04	< 0,04	< 8	23,4	2456	614	188	109	40,2	0,23	312	0,34				15,4
118	F.C.C.-Osak.	17/12/93	6,5	4725	670																																	
119	F.C.C.-Osak.	30/12/93	6,4	5553	78																																	

Anexo 6.4.2.(continuación). Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de San Marcos. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y T^{a} (°C).

Nº	Procedencia	S MARCOS	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Deterg.	Sulfuros	Temp.
1	Lab.Fraisoro	9/1/89	6,6	1650	9,4	17	215	106		0,08	331	267		0,9			18	1,86	0,04	< 0,02	0,02	0,05	< 0,02	< 0,1	1,16	11,4	638	115	61	90,6	13,4	0,76		0,098		0,37		
2	LABEIN	15/2/89	6,1	1889			290	118			363																										
3	Lab.Fraisoro	13/3/89	6,5	3750	35	74		185		0,05	2140	840	< 0,03	2,5		1,4	20,4	6	0,16	0,13	0,02	0,22	0,03	< 0,1	0,87	23	1680	321	186	202	44,6	2,02		0,181	1,39	0,2		
4	Lab.Fraisoro	3/4/89	6,6	2420	33	66,5	279	136		< 0,03	1030		< 0,03	< 0,5		1,26	5,06	3,08	0,17	0,02	0,21	0,09	< 0,02	0,2	0,75	26,7	1030	192	96	210		0,82		0,177	0,86	0,7		
5	Lab.Fraisoro	21/4/89	6,5	4370	75	106	303	50		0,86	3220		0,11	< 0,5		1,84	28,6	7,85	0,2	0,04	< 0,02	0,19	< 0,02	0,2	0,91	35,3	2300	323	230	616		7,3		0,272	1,99	1,53		
6	Lab.Fraisoro	22/5/89	6,6	3320	90	136	77,8	219		0,11	3120	1100	< 0,03	< 0,5		1,88	33	7,4	0,13	0,05	< 0,02	0,05	< 0,02	< 0,1	0,69	29,4	320	241	160	350		4,52		0,281	1,04	1,01		
7	Lab.Fraisoro	9/6/89	6,8	3510	160	166	400	238		0,1	2390	1920	< 0,03	< 0,5		6,64	46,4	7,3	0,06	< 0,02	< 0,02	0,12	0,03	< 0,1	0,41	69	1760	455	168	229	45,9	1,68		0,665	5,4	1,04		
8	Lab.Fraisoro	12/6/89	7,6	1070	13	14,5	159	24,3		< 0,03	218	104				0,3	1,31	0,38	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,4	< 0,1	53,7				146				2,92				
9	Lab.Fraisoro	30/6/89	6,8	2600	80	190	571	45,4		1,55	2460	1670	< 0,03	1,26		0,81	48,2	5,6	0,29	0,11								211										
10	Lab.Fraisoro	2/10/89	8,1	2810	180	265	312	174		0,48	791		< 0,03			1,01	22	3	0,24	0,05																		
11	LABEIN	3/10/89	7,6	3350		114	410	245	267		930	400					10,8	2,5	0,17						0,46	12		253	177	157	46				0,5			
12	Lab.Fraisoro	31/10/89	8,1	3320	53	55	356	160		0,44	831		< 0,03			0,95	11,71	1,64	0,18	0,03																		
13	LABEIN	8/11/89	7,2	4348		96	600	295	362		1860	1200					0,49	5,3	0,11	< 0,1		< 0,1	< 0,05		6	25		400	193	227	101				0,7			
14	Lab.Fraisoro	27/11/89	7,8	3720	52	38	57,8	224		0,8	793	295	< 0,03			1,14	17,2	2,03	0,16	< 0,02																		
15	LABEIN	2/1/90	7,7	4234		13	560	133	111		683	240					9,8	1,4	0,14	< 0,1		< 0,1	< 0,05		2,27	14		337	242	108	40				1,2			
16	Lab.Fraisoro	30/1/90	7,4	5960	80	321	970	496		1,49	1120	400	0,07			1,69	27	2,24	0,21	< 0,02																		
17	Lab.Fraisoro	22/2/90	7,5	4380	27	17	625	307		0,91	532	130	< 0,03	0,8		0,68	9,3	1,46	0,07	0,03																		
18	Lab.Fraisoro	28/3/90	7,2	2850	15	9	43,1	234		1,06	690		< 0,03	< 0,5		0,54	4,11	0,73	0,08	< 0,02																		
19	Lab.Fraisoro	4/4/90	7,4	4080	20	11	63	29,4		2,03	828		< 0,03	0,8		0,6	5,23	0,94	0,14	0,02																		
20	Lab.Fraisoro	25/4/90	*7,8*	*7160*	*148*	*162*	*1300*	*432*	*> 150*	*0,92*	*4830*	*3400*	*0,13*	*< 0,5*	*485*	*4,28*	*33,1*	*31,4*	*0,47*	*0,03*																		
21	Lab.Fraisoro	8/5/90	*8*	*18800*	*90*	*64*	*4360*	*1450*		*2,57*	*9730*			*0,5*	*1340*	*2,72*	*31,4*	*1,19*	*0,7*	*0,13*																		
22	Lab.Fraisoro	21/5/90	7,2	6990	48	81	1210	42,7		1,99	1350	260	0,09	< 0,5		0,46	18,5	5,5	0,2	0,07																		
23	Lab.Fraisoro	7/6/90	8,1	4780	100	196	856	17,9		0,14	3620	925	< 0,03	< 0,5	222	1,52	6,76	1,89	0,12	0,05																		
24	Lab.Fraisoro	21/6/90	6,9	5920	25	56	944	410		1,04	1420				327	2,18	23,5	5	0,2	0,053																		
25	Lab.Fraisoro	16/7/90	7,2	7100	29	17,5	702	582		3,48	3080		< 0,03		428	1,24	13,7	0,83	0,24	0,062																		
26	Lab.Fraisoro	1/8/90	7,4	6730	2,8	29	495	659		3,22	2550		< 0,03		436	0,7	16,5	3,22		0,045																		
27	Lab.Fraisoro	16/8/90	7,1	7100	25	29,5	1170	415		4,9	*175*		< 0,03		383	1,21	7,85	3,8	0,16	0,06																		
28	Lab.Fraisoro	11/9/90	7,2	8510	24	25	1230	336		5,61	3040		< 0,03			1,2	8,9	2,65	0,2	0,049																		
29	Lab.Fraisoro	23/10/90	8	3860	21	18	649	21,5		0,55	442		< 0,03			0,36	2,64	0,78	0,06	0,07																		
30	Lab.Fraisoro	7/11/90	7,9	2800	72	136	416	70		0,25	740		< 0,03			1	3,91	1,21	0,49	0,029																		
31	Lab.Fraisoro	20/11/90	7,9	2420	18			169		0,5	425		< 0,03		110	0,32	3,18	0,66	0,08	0,004							410										
32	Lab.Fraisoro	4/12/90	7,9	3600	30	24,5	585	196		0,34	853		< 0,03		177	0,91	7	1,97	0,28	0,071			< 0,01	0,026													
33	Lab.Fraisoro	18/12/90	7,9	5890	25	26	1000	380			1300				470		1,32	3,17	0,636	0,038			< 0,01	0,059													
34	Lab.Fraisoro	9/1/91	7,8	7000	53	89,5	1040	96,9		*< 0,924*	1790		< 0,03			3,14	16,2	3,62	0,36	0,055	< 0,01		< 0,01	0,194													
35	Lab.Fraisoro	30/1/91	7,6	5540	53	80	1010	280		0,98	1539		< 0,03		308	2,18	17	2,92	0,56	0,183																	
36	Lab.Fraisoro	12/2/91	7,7	4510	35	37	794	240		0,81	1037		< 0,03		23,4	1,11	6,18	2,51	0,25	0,059																	
37	Lab.Fraisoro	6/3/91	7,9	3760	51	77	623	460		0,06	1060		< 0,03			1,24	5,71	2,05	0,2	< 0,02																	
38	Lab.Fraisoro	25/3/91	7,8	1870	44	87	34,3	100		0,57	631		< 0,03		9,3	0,655	4,55	1,25	0,14	0,018																	
39	Lab.Fraisoro	10/4/91	6,7	3320	69	82	618	207		0,57	1224		< 0,03		236	0,695	4,58	2,16	0,32	< 0,02																	
40	Lab.Fraisoro	23/4/91	7,5	4300	43	64	745	245			760		< 0,03		255	0,486	12,1	5,5	0,21	0,053																	
41	Lab.Fraisoro	6/5/91	7,5	3050	46	60,5	519	269		0,27	678		< 0,03		164	0,77	7,2	1,83	0,27	0,039																	
42	Lab.Fraisoro	20/5/91	7,7	4730	74	154	898	260		0,64	2000		< 0,03		296	0,229	19,8	0,85	*7,75*	0,067																	
43	Lab.Fraisoro	4/6/91	7,9	4610	54	85	88,2	307		0,55	1530		< 0,03	*130*	232	0,46	4,8	1,63	0,12	0,22																	
44	Lab.Fraisoro	18/6/91	8	4400	100	123	88,4	302		0,38	1360		< 0,03	51	367	4	6,32	1,44	0,08	0,11																	
45	Lab.Fraisoro	9/7/91	8	4300	35	87	796	246	330	0,7	3210		< 0,03	22	240	1	11	2,9	< 0,2	< 0,04																	
46	Lab.Fraisoro	23/7/91	8,1	4980	175	146	1060	340		1,12	343		< 0,03		32,1	0,5	17,2	2,8	0,12	0,12																	
47	Lab.Fraisoro	28/8/91	7,8	6710	48	289	1420	18,5	98	1,32	4110		0,09		929	1,62	10,5	2,64	0,26	0,46																	
48	Lab.Fraisoro	16/10/91	7,9	6470	*> 1000*	27	1150	47,3	488		2230		< 0,03		481	0,3	16,6	3,4	1	< 0,2																	
49	Lab.Fraisoro	31/3/92	8	5480	56	123	1060	304	308	0,9	4870	540	< 0,03		294	3,6	16	2,6	2,8	0,06																	
50	Lab.Fraisoro	23/4/92	7,9	4630	55	59	842	162	282	1,05	1440		< 0,03		327	6,2	10,2	1,8	0,18	< 0,04																	
51	Lab.Fraisoro	5/5/92	7,9	4350	33	69	914	306	336	1,63	1340	770	< 0,03		397		8,2	2,6	1,4	< 0,04																	
52	Lab.Fraisoro	26/5/92	7,8	4270	20	35	798	282		0,57	555		< 0,03		270		5,44	1,95	0,17	0,04																	
53	Lab.Fraisoro	17/6/92	8,1	3760	18	40	746	274		0,8	1040	260	< 0,03		235		4,94	1,34	0,21	< 0,04																	
54	Lab.Fraisoro	8/7/92	7,9	3050	150	590	581	213		0,09	956	20	< 0,03		181		6,2	1,47	0,38	< 0,04					< 2	94,4											
55	Lab.Fraisoro	27/7/92	8,1	5910	25	128	1095	49,3		0,83	935	260	< 0,03		383		7,44	2,17	0,19	0,03																	
56	Lab.Fraisoro	28/8/92	8	10600	18	32	1965	590			2020	760			964		12,9	3,74								8,8	4590	939	503	9,1	64,5						
57	Lab.Fraisoro	8/9/92	8,2	4640	34	123	872	320		0,6	755	17	< 0,03		223		4,87	1,42	0,16	0,04					< 5	28,5											
58	Lab.Fraisoro	13/10/92	7,9	3600	14	22	580	242		0,59	528	160	< 0,03		240		2,93	1,09	0,1	0,02					40,7	126											
59	Lab.Fraisoro	26/10/92	7,5	3460	25	37	880	90,6		0,17	759	340	< 0,03		234		6,24	1,4	0,4	0,06					< 8	83,6											
60	F.C.C.-Osak.	5/11/92	6,9	4104	119	219		266			450	396																									
61	Lab.Fraisoro	10/11/92	7,3	5400	22		1380	254	221	0,73	1070	410	< 0,03		359	1,4	11,5	2,38	0,22	0,06																	
62	F.C.C.-Osak.	19/11/92	7,9	11457	444																															
63	Lab.Fraisoro	23/11/92	7,3	4050	62	87	641	285		0,97	1120	570	< 0,03		281	2,6	13,2	1,88	0,48	0,04					< 4	54,9											
64	F.C.C.-Osak.	3/12/92	7,2	7308	73,9	80		518			1750	700																									
65	Lab.Fraisoro	9/12/92	6,7	1350	160	339	189	63		0,1	618	280	< 0,03	< 1	80	0,8	19,2	1,04	0,3	0,04					5,84	51,8											
66	F.C.C.-Osak.	17/12/92	7,1	3600	127																															
67	Lab.Fraisoro	21/12/92	7	4000	48	83	764	270		1,48	1006		< 0,03		310		5,7	2,15	0,19	< 0,02					< 4	43,7											

Anexo 6.4.2. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de San Marcos. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	S MARCOS	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Deterg.	Sulfuros	Temp.
120	Lab.Fraisoro	3/1/94	7,7	6330	65	83	1260	608	573	1,95	2140	*< 2*	< 0,03	< 1	429		26,6	4,38	0,4	0,3	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	< 8	40,4	2790	746	260	165	50,8	0,66	757	0,16				17,4
121	F.C.C.-Osak.	13/1/93	6,6	6273	80																																
122	Lab.Fraisoro	17/1/94	6,6	3630	110	180	570	231	218	0,31	1990	1400	< 0,03	< 1	171		32	3,74	0,46	0,1	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	< 4	67,2	1490	335	126	218	33,9	0,69	739	0,343				16,5
123	F.C.C.-Osak.	28/1/94	6,8	5535	86																																
124	Lab.Fraisoro	31/1/94	7,2	6160	64	161	1090	461	408	0,79	1220	560	< 0,03	< 1	366		21,4	3,86	0,28	0,2	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,14	12,30	13,7	2590	664	224	125	43,1	< 0,1	482					16,2
125	F.C.C.-Osak.	10/2/94	6,8	6020	123	100		360			1100	400																									
126	Lab.Fraisoro	14/2/94	7,4	6210	51	75	1060	461	388	1,21	1770	960	< 0,03	< 1	381	3,6	23,1	3,98	0,38	*1,1*	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	< 8	32,5	2550	676	226	164	49,3	0,52		0,206				16,7
127	F.C.C.-Osak.	24/2/94	6,9	6345	75,8																																
128	Lab.Fraisoro	28/2/94	7,3	6510	36	79	1220	534	458	0,64	1230	720	< 0,03	< 1	325	2,4	15,8	4,26	0,22	0,1	< 0,04	0,1	< 0,04	0,14	< 8	< 8	2650	711	252	154	44,3	0,3	449	< 0,003				17,7
129	F.C.C.-Osak.	10/3/94	7,1	5976	67	98					1250	450																									
130	Lab.Fraisoro	14/3/94	7	4200	180	698		291	238	0,65	789	330	< 0,03	< 1	160	*21*	31,6	2,94	0,64	0,26	0,04	0,34	< 0,04	0,7			1920	412	134	126	29,2	0,2	441					16
131	F.C.C.-Osak.	24/3/94	7,1	6597	62,2																																
132	Lab.Fraisoro	5/4/94	6,8	3200	83	190	502	185	172	0,15	1810	1200	< 0,03	< 1		5,1	28,6	2,34	0,41	0,06	< 0,02	0,06	< 0,02		5,67	86,7	1260	282	104	199	28,3	0,64		0,443				11,3
133	F.C.C.-Osak.	14/4/94	7,1	6221	102	193		350			1250	700																									
134	Lab.Fraisoro	18/4/94	7	4000	85	139	595	269	262	0,50	1680	1120	< 0,03	< 1	200	4,1	24,1	3,01	0,31	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 4	60,1	1670	349	108	123	32,2	0,51		0,216				14
135	F.C.C.-Osak.	28/4/94	7,2	8110	70																																
136	Lab.Fraisoro	2/5/94	7,3	6790	42	87	1180	501	468	1,31	922	180	< 0,03	< 1		2,6	22,7	4,22	0,26	0,09	0,03	0,09	< 0,02	< 0,02	< 8	< 8	2760	734	232	140	41,8	0,16	312					19
137	F.C.C.-Osak.	12/5/94	7,1	6219	95	112		72			1425	528																									
138	Lab.Fraisoro	16/5/94	7,5	6660	33	88	1180	490	455	1,04	962	390	< 0,03	< 1		1,7	15	4,04	0,21	0,09	0,02		< 0,02	< 0,02	< 8	12,8	2700	626	240	133	42,7	0,19	498					18,9
139	F.C.C.-Osak.	26/5/94	7,1	6318	79																																
140	Lab.Fraisoro	6/6/94	7,3	6390	35	53	931	483	399	1,00	918	470		< 1		1,8	18,1	4,02	0,19	0,04	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	21,40	8,89	2600	616	214	143	41,8	0,27	284					19
141	F.C.C.-Osak.	9/6/94	7,2	6237	58	109		468			800	385				< 0,02	1,4	2,6		0,041	< 0,1	0,225	0,006	0,045													
142	F.C.C.-Osak.	23/6/94	7,2	6840	52																																
143	Lab.Fraisoro	27/6/94	7,3	6580	65	171	1140	540		0,71	1810	1020		< 1		0,4	15,6	3,33	0,26	0,04	0,03	0,16	< 0,02	< 0,1	32,40	26	2760	661	267	184	49,1	0,49	525					19
144	F.C.C.-Osak.	7/7/94	7,1	7670	130	350		547			1100	432																									
145	Lab.Fraisoro	11/7/94	7,5	6970	52	166	1280	552	506	1,30	1040	380		< 1		2,4	10,2	3,66	0,2	0,06	0,04	0,04	< 0,02	< 0,1	< 0,8	< 0,8	2800	660	266	< 120	35,9	0,14	176				0,053	21,2
146	F.C.C.-Osak.	20/7/94	7,1	7083	64	46		589			1088																										
147	F.C.C.-Osak.	27/7/94	7,1	7065	27	40		587			1050																										
148	F.C.C.-Osak.	28/7/94	7	6903	122	500		540			1010	440																									
149	Lab.Fraisoro	1/8/94	7,6	6980	7,1	97	1040	550	512	1,62	1100			< 1		3,8	13,6	3,34	0,1	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	37,40	19,4	2860	651	250	107	39,2	0,28				0,103	20,3
150	Lab.Fraisoro	22/8/94	7,2	7160	27	26	*1510*	*576*	490	*2,53*	874	240		< 1		1,7	15,1	2,78	0,18	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	*7,51*	*< 0,8*	*3050*	*607*	*252*	*129*	*43,9*	0,14	98				0,093	19,1
151	F.C.C.-Osak.	25/8/94	7,2	7479	10																																
152	F.C.C.-Osak.	8/9/94	6,7	3915	150	690		216			750	648																									
153	Lab.Fraisoro	13/9/94	7,7	7680	44	207	1270	643	547	1,54	1460			< 1		2,5	15,3	3,01	0,26	0,1	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	5,04	16,4	3330	861	318	193	50,9	0,22				0,072	20
154	Lab.Fraisoro	3/10/94	7,6	7170	37	340	1120	555	527	1,75	1170	61		< 1		8,7	22,6	3,2	0,31	0,11	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,1	0,85	9,59	3180	793	296	85,5	48,2	0,36	189				0,072	18,9
155	F.C.C.-Osak.	6/10/94	7,3	7560	102	102		590			1200	600																									
156	F.C.C.-Osak.	21/10/94	7,3	8064	243																																
157	Lab.Fraisoro	25/10/94	7,2	5000	240	826	757	399	343	0,30	1300		< 0,03	< 1	254	*17,5*	29,2	2,4	0,4	0,11	0,11	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,4	21,9	2480	582	199	135	27,7	0,33	391				0,05	18,4
158	F.C.C.-Osak.	3/11/94	7,2	7992	76	466		626			1650	448																									
159	Lab.Fraisoro	14/11/94	7,8	6940	32	53	1260	581	500	1,05	1450	560	< 0,03	< 1		1,4	22,3	3,8	0,18	0,05	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	26,1	3080	809	295	155	47,7	0,39	612				0,069	17,8
160	Lab.Fraisoro	13/12/94	7,7	7870	22	41	1350	700	717	2,44	1010	330	< 0,03	< 1	532	2,2	8,7	3,34	0,17	0,07	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	< 0,8	3310	772	294	130	47,5	0,14				0,042	18
161	F.C.C.-Osak.	15/12/94	7,3	4680	*1432*	397		385			850	188																									
162	Lab.Fraisoro	26/12/94	7,5	8450	76	157	1440	685	586	1,37	2830	1850	< 0,03	< 1	560	4,74	29,2	3,78	0,35	0,08	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,5	22,3	3540	628	271	117	59,3	1,18				0,089	17,4

Anexo 6.4.2.(continuación). Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de San Marcos. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	PETRITEGI	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Cr VI	Temp.
1	Lab.Fraisoro	22/6/89	8,1	10500	10	24	1340	745		11,5	*9190*	250	< 0,03	< 0,5		3,3	12,3	1,29	0,15	0,2								*934*							8,63		
2	Lab.Fraisoro	24/10/89	7,9	12900	32	13	228	15,3		9,4	2640		0,16			2,38	12,5	0,16	0,11	0,15																	
3	Lab.Fraisoro	16/11/89	8,5	*21200*	75	23,5	218			7,65	3000		0,38			3,36	7	0,45	0,17	0,64																	
4	Lab.Fraisoro	28/11/89	8,5	*2630*	2	89	*2340*	691		14,4	3390		< 0,03			1,47	2,75	0,36	0,12	0,19																	
5	Lab.Fraisoro	11/12/89	8,3	17600	0,5	< 5	1720	1370		11	7950	350	0,16			4,98	9,1	1,17	0,13	0,51																	
6	Lab.Fraisoro	15/1/90	7,9	11300	4,9	443	1040	1230		8,2	667	530	0,1			1,88	7,3	0,16	0,1	0,08																	
7	Lab.Fraisoro	5/2/90	7,9	13000	12	7	1370	1440		14,8	1090	240	< 0,03	< 0,5		2,22	10,5	1,18	0,08	0,09																	
8	Lab.Fraisoro	19/2/90	8,1	13200	12	14	1250	136		17	1530	320	0,03	< 0,5		2,22	9,4	1,28	0,13	0,22																< 0,1	
9	Lab.Fraisoro	12/3/90	8,1	12100	2	14,5	1340	616		15	1660	300	< 0,03	< 0,5		0,41	9,02	1,18	0,02	0,13																< 0,1	
10	Lab.Fraisoro	21/3/90	8,4	8000	1,5	31,5	1570	648		2,95	1100		< 0,03	< 0,5		0,98	6,6	0,93	0,17	0,14																0,1	
11	Lab.Fraisoro	8/5/90	8	13100	1,8	< 5	1250	1650		15,3	3860			1,5	983	2,15	8,5	1,13	0,18	0,19																	
12	Lab.Fraisoro	21/5/90	8,5	12800	12	33,5	1440	1400		10,7	3500	325	0,21			4,48	7,6	1,21	0,18	0,29				0,029													
13	Lab.Fraisoro	7/6/90	8	9800	5	100	894	528			3940	400	< 0,03	< 0,5	634	3,37	7,56	1,45	0,13	0,11															< 0,1	
14	Lab.Fraisoro	21/6/90	7,9	11300	4,5	466	1070	1040		7,8	4590	300			771		10,9	1,75	0,1	0,11																
15	Lab.Fraisoro	16/7/90	8,1	12400	12	32	1080	1450		8,8	4200		< 0,03		860	3,76	11,1	0,27	0,15	0,13																
16	Lab.Fraisoro	1/8/90	8	11000	2,9	43	558	1840		13,4	5350		< 0,03		834	3,06	20,3	1,32		0,05																
17	Lab.Fraisoro	16/8/90	7,9	11100	10	18,5	317	1040		9,9	387		< 0,03		735	3,2	10,3	1,42	0,09	0,08																
18	Lab.Fraisoro	11/9/90	7,9	10800	3,6	132	943	808		7,06	2980		< 0,03			3,68	13,6	1,51	0,1	0,056																
19	Lab.Fraisoro	7/11/90	7,8	11000	16	171	1000	348		1,79	2560		< 0,03			0,86	4,85	1,44	0,15	0,082																
20	Lab.Fraisoro	20/11/90	7,9	11600	14		1090	1060		15,7	6120		< 0,03		830	0,47	11,2	1,32	0,11	0,12															< 0,1	
21	Lab.Fraisoro	4/12/90	7,9	11000	15	51,5	1120	715		12,2	1450		< 0,03		381	0,98	8,4	1,17	0,18	0,062			< 0,01	< 0,01												
22	Lab.Fraisoro	18/12/90	8,1	11000	4	8	930	160			2870				98,6		1,35	1,1		0,071																
23	Lab.Fraisoro	9/1/91	7,9		118		862	169			2320		< 0,03			5,25	19,4	1,31	*5,09*	0,059	< 0,01		< 0,01	0,214												
24	Lab.Fraisoro	30/1/91	7,9	10000	17	104	869	600		12,5	2060		< 0,03		623	1,2	12,2	1,5	0,08	0,18																
25	Lab.Fraisoro	12/2/91	7,7	9020		*5210*	767	827		5,64	3260		< 0,03		76,5	3,3	73,7	5,9	0,28	0,062																
26	Lab.Fraisoro	6/3/91	7,9	10170	13	14	838	1690		0,65	3090		< 0,03			5,19	6,97	1,25	0,08	0,01																
27	Lab.Fraisoro	25/3/91	8	6000	17	21	510	580		0,29	1200		0,04		25,2	0,845	5,24	1,55	0,08	0,024																
28	Lab.Fraisoro	10/4/91	*6,9*	8720	11	9	838	930		10,7	7800		< 0,03		750	1,7	4,42	1,21	0,08	0,03																
29	Lab.Fraisoro	23/4/91	7,9	9400	14	15,5	834	805			1660		< 0,03		590	0,89	7,1	1,06	0,09	0,069																
30	Lab.Fraisoro	6/5/91	7,9	6640	5,1	12,5	522	795		8,06	1080		< 0,03		368	0,58	2,86	0,97	0,13	0,059																
31	Lab.Fraisoro	20/5/91	7,9	8350	6,2	13	713	765		1,17	2440		< 0,03		526	0,156	9,5	2	*10,5*	0,077																
32	Lab.Fraisoro	4/6/91	7,9	8120	18	14	680	880		7,45	1420		< 0,03	18	404	< 0,2	4,75	0,54	0,1	0,28																
33	Lab.Fraisoro	18/6/91	8	7550	15	28	647	938		6,5	1640		< 0,03	< 0,5	689	< 0,2	4,09	0,57	0,05	0,14																
34	Lab.Fraisoro	9/7/91	7,9	6860	9	418	629	666	1000	4,7	2860		< 0,03	29	436	3	51	0,48	< 0,2	< 0,04																
35	Lab.Fraisoro	23/7/91	7,9	7020	8,5	32	614	730		4,75	1300		< 0,03		43,1	0,17	8,8	1,4	< 0,04	< 0,04																
36	Lab.Fraisoro	28/8/91	7,8	6870	30	648	607	302	592	0,39	1860		< 0,03		341	1,64	176	4,36	0,24	0,62																
37	Lab.Fraisoro	16/10/91	8	8620	> *1000*	78	767	121	915		1920		< 0,03		540	0,9	15,4	2	1	< 0,4																
38	Lab.Fraisoro	31/3/92	7,9	7350	13	45	550	580	642	3,4	1350	180	< 0,03		318		12,8	2,8	4,4	< 0,04																
39	Lab.Fraisoro	23/4/92	8,2	7150	90	173	838	200	486	2,48	1090	120	< 0,03		438	11	5,6	< 0,02	0,32	< 0,04																
40	Lab.Fraisoro	5/5/92	7,8	6790	15	20	631	655	712	4,15	617	140	< 0,03		393		16,2	3,2	1,8	< 0,04																
41	Lab.Fraisoro	26/5/92	7,6	7320	45	1360	600	625		1,12	1370		< 0,03		387		134	6,3	0,22	0,07																
42	Lab.Fraisoro	17/6/92	7,9	6600	15	*3420*	312	520		2,13	2510	480	< 0,03		420		29	4,02	0,14	< 0,04																
43	Lab.Fraisoro	8/7/92	7,8	5890	20	92	609	810		0,82	525	80	< 0,03		294		6,06	1,79	0,07	< 0,04					85,8	86,4										
44	Lab.Fraisoro	27/7/92	7,9	6940			554	570		2	3980	840	< 0,03		732		20,7	4,33	0,07	< 0,02						7,25										
45	Lab.Fraisoro	8/9/92	8	6410	40	264	682	598		1,65	865	160	< 0,03		338		71,6	3,16	0,13	0,08					51,6	7,39										
46	Lab.Fraisoro	13/10/92	8,3	6660	2,5	< 5	570	775		2,41	778	< 20	< 0,03		540		0,77	0,21	0,18	0,03					184	138										
47	Lab.Fraisoro	26/10/92	8,3	6200	35	7	503	294		3,93	587	< 20	< 0,03		389		1	0,32	0,36	0,08					95,9	144										
48	Lab.Fraisoro	10/11/92	7,8	6590	72		556	565	477	2,66	765	440	< 0,03		424	*48*	156	3,54	0,42	0,3																
49	Lab.Fraisoro	23/11/92	8	5840	50	1050	396	600	638	5,98	519	215	< 0,03		281	*18*	12,1	1,3	0,18	0,04					12,2	9,28										
50	Lab.Fraisoro	9/12/92	7,7	2840	100	18	186	269	223	5,4	211	< 20	< 0,03	< 1	116	0,2	2,8	0,74	0,18	< 0,04					39,2	59,4										
51	Lab.Fraisoro	21/12/92	7,8	5770	23	17	502	650		5,2	493	< 20	< 0,03		263		15,5	1,4	0,06	< 0,02					0,64	14										

Anexo 6.4.3. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Petritegi. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	PETRITEGI	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Cr VI	Temp.
52	Lab.Fraisoro	4/1/93	7,6	5160	> *1000*	*3270*	539	680		1,55	776		< 0,03		220		118	2,92	0,14	0,07						8	46											
53	Lab.Fraisoro	18/1/93	7,7	8890	0,2	8	1400	1020	825	2,55	1201	< 20	< 0,03		850	0,9	7,46	0,76	0,4	0,09						3,08	306											
54	Lab.Fraisoro	1/2/93	*7,5*	*5400*	*23*		*474*	*615*	*1030*	*0,60*	*9470*	*500*	*< 0,03*		*265*	*18*		*21,8*	*3,36*	*2,16*						*< 4*	*12,7*											
55	Lab.Fraisoro	15/2/93	7,4	5390		*4590*	509	515	618	0,61	4660	565	< 0,03	< 1	235	1,2		10,8	1,44	1,08						< 8	< 8											
56	Lab.Fraisoro	8/3/93	7,7	4970	34	175	503	490		0,92	439	30	< 0,03	< 1	190	1,2	35,6	1,72	0,16	0,14						< 20	103											
57	Lab.Fraisoro	15/3/93	7,6	4910	32	199	492	540	450	1,12	400	90	< 0,03	< 1	200	0,8	36,2	1,78	0,14	0,1						19,7	28,8											
58	Lab.Fraisoro	30/3/93	7,7	5010	47	393	385	498	435	1,04	539	160	< 0,03	< 1	196	1,48	14,6	2,22	0,2	0,12						< 10	< 10											
59	Lab.Fraisoro	14/4/93	7,9	5310	1,1	62	797	362	468	0,94	751	140	< 0,03	< 1	501	0,4	6,44	0,26	0,54	0,1						17	195											
60	Lab.Fraisoro	27/4/93	8,0	3910	8	33	596	292	229	0,06	429	< 20	< 0,03	< 1	34	0,5	2,22	0,12	0,56	0,04						58,3	233											
61	Lab.Fraisoro	11/5/93	7,8	5940	48	728	520	438	382	1,92	783	390	< 0,03	< 1	289		173	3,36	0,36	0,2						70,4	52,3											
62	Lab.Fraisoro	24/5/93	7,8	6160	42	320	450	488	446	1,53	476	270	< 0,03	< 1	280	3,8	42,6	1,84	0,28	0,14	0,08	0,5	0,1	1		21,2	< 10											19
63	Lab.Fraisoro	7/6/93	7,9	5900	20	32	450	502	471	0,82	364	150	< 0,03	< 1	221	0,2	8,32	1,6	0,14	< 0,04	< 0,04	0,44	0,16	1,16		13,2	< 4											20,2
64	Lab.Fraisoro	21/6/93	7,9	5490	> *1000*	142	384	486	473	0,85	746	50	< 0,03	< 1	216	13	164	4,56	0,3	0,24	0,3	0,48	0,1	0,06		22,2	< 4											20,5
65	Lab.Fraisoro	5/7/93	7,8	5730	1,5	23	802	422	370	0,80	475	70	< 0,03	< 1	439	0,5	9,5	0,32	0,64	0,04	0,16	0,98	0,18	1,54	10,1	318		594	326	131	61,8						21
66	Lab.Fraisoro	19/7/93	8,0	5720	134	*2230*	506	586	537	1,17	989	310	< 0,03	< 1	245	15	*314*	1,48	0,5	0,34	0,14	0,3	< 0,04	0,06	23	3,52	4010	396	253	93,8	157						18,8
67	Lab.Fraisoro	2/8/93	7,8	5440	> *1000*	*1830*	494	590	549	0,87	1250	*1020*	< 0,03	< 1	220	8,2	*440*	7,82	0,56	0,32	0,24	0,22	< 0,04	0,56	< 1	< 2	3760	338	224	92,2	145						19,8
68	Lab.Fraisoro	16/8/93	7,7	5160	> *1000*	*2370*	124	544	577	0,74	956	20	< 0,03	< 1	217	1	*510*	7,42	0,74	0,78	0,3	0,16	< 0,04	< 0,04	23,2	7,24	3600	349	210	148	149						19
69	Lab.Fraisoro	30/8/93	7,8	4870	> *1000*	*5710*	410	465	523	0,68	1460	500	< 0,03	< 1	183	17,4	*375*	0,84	0,3	< 0,04	0,5	< 0,04	< 0,04	< 0,04	71,5	14,1	3410	323	202	178	144						17,4
70	Lab.Fraisoro	13/9/93	8,1	4300	88	37	353	407	342	0,59	287		< 0,03	< 1		0,7	11,2	1,5	0,1	0,04	0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	1,53	37	2840	280	*18,2*	46,8	117						17
71	Lab.Fraisoro	27/9/93	8,1	4140	90	*3550*	392	364	284	2,46	561		< 0,03	< 1		1,5	*209*	5,2	0,88	0,64	0,46	0,52	< 0,04	0,24	159	182	2590	334	179	155	121						
72	Lab.Fraisoro	11/10/93	7,9	5590	0,5	21	750	337	292	0,70	421	185	< 0,03	< 1	349	< 0,2	3,16	0,4	0,76	0,18	0,22	< 0,04	< 0,04	< 0,04	82,5	289	2060	502	243	167	55	< 0,1					19,2
73	Lab.Fraisoro	25/10/93	7,9	6520	0,5	40	964	453	390	0,83	483		< 0,03	< 1	476	0,2	5,1	0,48	0,8	0,18	0,3	0,12	< 0,04	< 0,04	110	383	2460	626	332	136	56,2	< 0,1					19
74	Lab.Fraisoro	8/11/93	7,7	4610	31	25	199	415	343	1,28	252		< 0,03	< 1	168	< 0,2	5,18	1,38	0,04	0,06	< 0,04	0,1	< 0,04	0,1	54,5	75,4	2690	238	158	44,4	125	< 0,1	106				17
75	Lab.Fraisoro	22/11/93	7,8	5460	71	293	*456*	*535*	496	*2,14*	381		< 0,03	< 1	212	1,5	17,8	1,46	0,06	0,18	< 0,04	0,1	< 0,04	0,06	*8,77*	*30,1*	*1000*	*336*	*214*	*50*	*140*	< 0,1	152	*3,83*			16,7
76	Lab.Fraisoro	13/12/93	7,9	5100	73	764	397	470	515	0,78	220		< 0,03	< 1	200	1,34	102	2,94	0,2	< 0,04	0,06	0,12	< 0,04	< 0,04	24,2	31,5	3360	288	165	104	125	< 0,1	111	4,08			17,4
77	Lab.Fraisoro	3/1/94	7,9	4950	8	6	687	481	432	1,55	356	52	< 0,03	< 1	292		1,3	0,24	0,22	0,16	0,22	< 0,04	< 0,04	< 0,04	96,9	358	2510	447	255	112	101		153	4,58			18,6
78	Lab.Fraisoro	17/1/94	7,7	4440	0,9	44	531	266	240	0,10	305	28	< 0,03	4,4	19		2,12	0,4	0,68	0,12	0,28	0,12	< 0,04	0,04	142	552	1650	471	226	248	61,8	< 0,1	127	0,155			18,1
79	Lab.Fraisoro	31/1/94	8,0	6090	0,5	< 5	825	431	383	0,53	494	30	< 0,03	< 1	440		2	0,44	0,74	0,22	0,36	0,08	< 0,04	0,26	82,2	408	2520	609	327	155	72,1	< 0,1	199	4,1			21,4
80	Lab.Fraisoro	14/2/94	8,0	5610	9,5	9	692	437	356	1,00	386		< 0,03	< 1	282	0,7	2,55	0,8	0,52	0,08	0,22	0,18	0,1	< 0,04	90,7	413	2570	468	273	100	100	< 0,1		5,15			18,3
81	Lab.Fraisoro	28/2/94	7,9	6810	0,5	10	938	528	480	0,69	575	40	< 0,03	< 1	460	0,5	2,58	0,38	0,62	0,08	0,36	0,18	< 0,04	< 0,04	49,8	383	2940	672	415	128	71,4	< 0,1	182	3,3			20,5
82	Lab.Fraisoro	14/3/94	8,0	6200	6	7	802	533	439	0,62	507	120	< 0,03	< 1	410	0,5	4,72	0,68	0,3	0,14	0,14	0,4	< 0,04	< 0,04	57,9	239	2940	518	278	115	89,7	< 0,1	383				20
83	Lab.Fraisoro	5/4/94	7,8	3770	1	5	465	237	213	0,46	264	30	< 0,03	< 1	230	0,5	1,41	0,28	0,46	0,04	0,14	0,05	< 0,02		45,2	363	1460	297	170	155	47	< 0,1		3,95			18
84	Lab.Fraisoro	18/4/94	7,8	5030	10	5	516	325	307	0,35	339	25	< 0,03	< 1	300	0,3	1,55	0,44	0,61	0,06	0,23	< 0,02	< 0,02	< 0,02	61,3	446	1940	376	197	102	57,7	< 0,1		2,63			19,1
85	Lab.Fraisoro	2/5/94	7,8	7730	0,5	7	1060	582	533	1,12	658	30	< 0,03	< 1		0,4	3,58	0,39	0,53	0,16	0,28	0,1	< 0,02	< 0,02	18,6	431	3410	748	396	170	73,9	0,16	245				23,9
86	Lab.Fraisoro	16/5/94	7,9	7270	0,1	7	1010	601	516	1,73	639	40	< 0,03	< 1		0,4	4,11	0,32	0,38	0,14	0,2		< 0,02	< 0,02	10,4	262	3270	670	382	122	68,3	< 0,1	442				24,2
87	Lab.Fraisoro	6/6/94	8,1	6560	4	12	704	576	469	1,37	538	85		< 1		0,5	5,16	0,67	0,24	0,08	0,1	< 0,02	< 0,02	< 0,02	48,8	164	3230	521	295	81,8	91,4	< 0,1	177				22,5
88	Lab.Fraisoro	27/6/94	8,0	6150	3,5	10	906	585		1,04	481	40		< 1		0,4	2,51	0,22	0,19	0,06	0,09	0,07	< 0,02	< 0,1	72,5	163	2950	540	327	73,6	89,3	< 0,1	130				23
89	Lab.Fraisoro	11/7/94	8,0	7280	0,2	11	1140	653	559	2,30	634	30		< 1		0,4	3,94	0,28	0,17	0,1	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	155	3270	638	395	*< 240*	54,2	< 0,1	176				27,8
90	Lab.Fraisoro	1/8/94	8,1	6520	0,5	5	994	564	518	1,94	578	45		< 1		0,6	3,41	0,26	0,24	< 0,02	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	85,9	2730	506	300	62,9	45,8	< 0,1					25,4
91	Lab.Fraisoro	22/8/94	8,0	6850	0,6	6	*1340*	*604*	509	*2,16*	618	45		< 1		0,5	4,47	0,24	0,04	0,1	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,1	*11,6*	*123*	*3180*	*530*	*368*	*62*	*56,7*	< 0,1	178				22,9
92	Lab.Fraisoro	13/9/94	8,0	5070	0,3	< 5	664	410	342	1,15	484			< 1		0,3	2,24	0,28	0,3	0,07	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,1	125	2280	494	266	126	51,2	< 0,1					24,4
93	Lab.Fraisoro	3/10/94	8,1	4760	6,1	19	467	351	334	0,88	328			< 1		0,8	4,71	0,83	0,13	0,04	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,1	47,9	184	2300	385	255	63,8	83,5	< 0,1	93				22
94	Lab.Fraisoro	25/10/94	8,0	4870	9	17	533	423	364	0,60	341		< 0,03	< 1	271	1	4,05	0,84	0,25	0,05	0,1	< 0,02	< 0,02	< 0,1	54,3	138	2550	424	247	120	100	< 0,1	77				21,3
95	Lab.Fraisoro	14/11/94	8,2	5120	6,5	11	745	427	373	0,80	364	20	< 0,03	< 1		0,5	3,93	0,8	0,31	0,07	0,11	< 0,02	< 0,02	< 0,1	51,4	180	2550	480	279	84	88	< 0,1	239				21,4
96	Lab.Fraisoro	13/12/94	8,2	7030	4	< 5	978	584	462	1,77	490	60	< 0,03	< 1	571	0,56	3,36	0,2	0,31	0,08	0,11	< 0,02	< 0,02	< 0,1	10,6	246	2960	697	406	105	74	< 0,1					24
97	Lab.Fraisoro	26/12/94	7,9	4800	1,5	10	586	327	278	0,41	321	24	< 0,03	< 1	305	0,24	1,5	0,32	0,57	0,06	0,2	< 0,02	< 0,02	< 0,1	110	204	1860	345	214	84,4	54,2	0,15					21,5

Anexo 6.4.3.(continuación). Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Petritegi. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	VENTAS	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	S04	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	CO3	Cr VI	Temp.
1	LABEIN	15/2/89	8,2	8787		2	1540	768	*1420*		1425	50					6,8	1,1	0,18						18,5	65		990	1000	102	62				0,8			
2	LABEIN	28/9/89	8,3	7519		6,4	1520	581	546		967	55					5,3	0,31	0,19						26,5	105		1130	645	95	47				7,3			
3	LABEIN	8/11/89	8,4	5402		12,7	880	327	596		736	60					1,8	0,8	0,23	< 0,1		< 0,1	< 0,05		42,4	78		610	255	168	65				0,9			
4	Lab.Fraisoro	28/11/89	8,2	9520	2,3	7,5	1320	454		2,84	881		< 0,03			1,19	4,63	0,92	0,06	0,18																	
5	Lab.Fraisoro	11/12/89	8,2	8660	0,5	< 5	1470	522		3,32	7500	200	0,04			0,6	5,2	0,82	0,1	0,19																	
6	Lab.Fraisoro	15/1/90	8,3	7200	3,5	37	*12*	457		2,13	581	50	0,1			0,57	3,89	0,13	0,15	0,12																	
7	LABEIN	2/1/90	8,7	8698		6	1570	290	231		1025	160					12	0,85	0,18	0,3		< 0,1	< 0,05		20,6	91		1000	507	92	49				9,5			
8	Lab.Fraisoro	5/2/90	8,2	7200	10	8	1300	49,6		2,02	958		< 0,03			0,75	5,78	1,71	0,13	0,07																	
9	Lab.Fraisoro	19/2/90	8,2	6340	17	31	1020	30,9		0,87	814	80	< 0,03	3,6		0,77	6,6	1,89	0,15	0,1																< 0,1	
10	Lab.Fraisoro	12/3/90	8,3	7400	2,5	18	1330	266		2,31	1140	120	< 0,03	< 0,5		0,69	5,63	0,99	0,02	0,09																	
11	Lab.Fraisoro	21/3/90	*8,2*	*12000*	*2*	*23,5*	*1230*	*1570*		*14,8*	*1530*		*< 0,03*	*< 0,5*		*2,67*	*16,6*	*1,4*	*0,13*	*0,13*																*0,1*	
12	Lab.Fraisoro	28/3/90	8,3	7590	1,5	< 5	148	218		2,31	1430		0,32	< 0,5		1,41	6,1	0,84	0,1	0,25																0,44	
13	Lab.Fraisoro	4/4/90	8,2	7880	1	16	151	645		2,9	2220		< 0,03	< 0,5		1,02	5,21	0,98	0,1	0,08																	
14	Lab.Fraisoro	25/4/90	8,2	7030	52	111	1310	570	>150	0,97	2880	*1300*	0,17	7	617	1,4	8,2	1,92	0,13	0,07																	
15	Lab.Fraisoro	8/5/90	8,2	11700	1,2	< 5	2390	900		1,68	3060			< 0,5	1170	1,99	9,7	2,24	0,11	0,19																	
16	Lab.Fraisoro	21/5/90	8,2	10400	33	84	2180	794		2,1	4100	250	0,3			0,29	8,5	1,95	0,14	0,15																	
17	Lab.Fraisoro	7/6/90	8,4	7540	13	50	1450	530			5190	400	< 0,03	1,1	654	1,57	5,64	1,79	0,15	0,16															< 0,1	
18	Lab.Fraisoro	21/6/90	8,3	10200	4,5	19	2180	640		3,14	6440	500			953	1,6	6,8	1,55	0,11	0,13																	
19	Lab.Fraisoro	16/7/90	8,5	12400	10	25	1550	840		4,42	3500		< 0,03		1220	1,24	6,6	0,19	0,16	0,065																	
20	Lab.Fraisoro	1/8/90	8,4	12100	11	35	2780	855		4,56	7210		< 0,03		1350	0,78	14,5	0,74		0,3																	
21	Lab.Fraisoro	16/8/90	8,4	13500	9	28	3980	507		6,6	911		< 0,03		1520	1,08	6,8	0,62	0,16	0,28																	
22	Lab.Fraisoro	11/9/90	8,5	14100	0,6	35	3230	347		6,08	4540		< 0,03			1,39	8,6	0,57	0,2	0,067																	
23	Lab.Fraisoro	23/10/90	8,3	14400	0,7	16	3440	115		4,93	2240					1,37	6,4	0,59	0,15	0,57																	
24	Lab.Fraisoro	7/11/90	8,1	11900	10	25	2400	122		0,29	1790		< 0,03			0,6	10	1,36	0,41	0,068																	
25	Lab.Fraisoro	20/11/90	8,3	10600	15		2040	842		< 0,03	6450		< 0,03		1090	0,4	4,62	1,06	0,21	0,21															< 0,1	
26	Lab.Fraisoro	4/12/90	8,1	14000	31	38	3490	660		3,26	4260		< 0,03		1300	0,87	5,8	2,15	0,26	0,079				< 0,01	0,246												
27	Lab.Fraisoro	18/12/90	7,8	13500	7	22	2830	755			411				1440		1,66	3,89	0,239	0,09				< 0,01	0,157												
28	Lab.Fraisoro	9/1/91	8	11700	2,9	< 5	2240	85,5			4390		< 0,03			5	9,3	2,17	0,11	0,068	< 0,01			< 0,01	0,191												
29	Lab.Fraisoro	30/1/91	8,1	11600	16	36	2350	615			2430				1060	1,07	8,4	2,6	0,8	0,24																	
30	Lab.Fraisoro	12/2/91	8,2	10000	3,6	11	1970	667		1,62	5130		< 0,03		83,5	2,25	5,7	2,55	0,12	0,153																	
31	Lab.Fraisoro	6/3/91	8,2	11800	12	17	2407	1640		0,32	2340		< 0,03			4,91	5,3	1,56	0,11	0,016																	
32	Lab.Fraisoro	25/3/91	8,1	2910	25	30	58,9	155		0,42	564		< 0,03		16,7	0,473	2,12	1,84	0,1	0,015																	
33	Lab.Fraisoro	10/4/91	*7,1*	8860	3,5	13	1980	625		0,67	3500		< 0,03		490	0,672	2,87	1,64	0,15	0,038																	
34	Lab.Fraisoro	23/4/91	8,2	8000	4,2	26	1570	510			1610		< 0,03		640	0,57	5,98	2,44	0,14	0,072																	
35	Lab.Fraisoro	6/5/91	8,1	4890	24	51	921	430		0,34	1090		< 0,03		310	0,61	2,95	1,56	0,2	0,056																	
36	Lab.Fraisoro	20/5/91	8,2	8580	3,9	18	1770	510		1,48	3080		< 0,03		602	0,103	4,5	0,5	*4,5*	0,097																	
37	Lab.Fraisoro	4/6/91	8,4	8520	10	15,9	1730	585		< 0,03	2690		< 0,03	32	554	< 0,2	2,34	0,99	0,1	0,28																	
38	Lab.Fraisoro	18/6/91	8,3	8040	12	18	1730	665		3,8	2600		< 0,03		948	0,3	2,68	0,92	0,07	0,16																	
39	Lab.Fraisoro	9/7/91	8,4	8370	3	11	1840	464	480	3,1	1560		< 0,03	24	750	< 0,2	5	1,5	< 0,2	< 0,04																	
40	Lab.Fraisoro	23/7/91	8,5	9410	1,5	14	2150	530		5,86	6090		< 0,03	< 0,5	90	0,2	4,9	1,4	0,32	0,32																	
41	Lab.Fraisoro	28/8/91	8,5	10200	0,6	10	2420	253	352	0,1	5010		0,04		377	0,24	4,34	1,22	0,2	0,54																	
42	Lab.Fraisoro	16/10/91	8,3	9450	*> 1000*	< 2	2040	77,6	390	2	3160		< 0,03		683	0,5	5,3	1,12	0,22	0,14																	
43	Lab.Fraisoro	11/2/92	8,1	9440	29	89		12,5			2200	80		< 1	490	8,8	7,66	2,14	0,28	0,18	0,1	0,44	0,08	0,76	23,6									2,24			
44	Lab.Fraisoro	31/3/92	8,1	5190	15	15	1000	237	249	0,9	1750	360	< 0,03		334	2,6	5,8	3,2	2,2	< 0,04																	
45	Lab.Fraisoro	5/5/92	7,8	4870	5,5	7	1180	283	318	0,86	461	50	< 0,03		292		4	3,4	1,4	< 0,04																	
46	Lab.Fraisoro	26/5/92	8	7150	10	78	1550	420		1,83	545		< 0,03		425		3,25	2,85	0,14	0,07																	
47	Lab.Fraisoro	17/6/92	8,2	10500	73	*7610*	2610	418		1,41	4950	*1200*	< 0,03		710		2,58	2,32	1,05	0,04																	
48	Lab.Fraisoro	8/7/92	8,1	3580	49	82	548	354		0,05	568	20	< 0,03		207		1,88	2,44	0,16	< 0,04						36,4	*465*										
49	Lab.Fraisoro	27/7/92	8,4	14600	100	*2300*	3450	900		5,25	2480	210	< 0,03		960		3,9	0,71	0,1	0,06							23,9										
50	Lab.Fraisoro	8/9/92	7,7	6340	17	29	1291	485		0,61	715		< 0,03		444		4,35	3,62	0,09	0,06						67,2	205										
51	Lab.Fraisoro	13/10/92	8,1	1980	16	18	359	46,2		0,03	143	< 20	< 0,03		89		0,54	1,23	0,08	< 0,02						70,9	286										
52	Lab.Fraisoro	26/10/92	7,1	4600	15	19	1220	45,7		0,05	1320	640	< 0,03		212		3,14	4,88	0,32	0,04						< 8	113										
53	Lab.Fraisoro	10/11/92	7,7	3530	58		677	85		0,09	772	300	< 0,03		146	*18*	11,5	4,44	0,4	< 0,04																	
54	Lab.Fraisoro	23/11/92	8,1	4990	21	39	1120	217		0,24	634	150	< 0,03		284	6	3,56	2,98	0,24	0,06						13,8	233										
55	Lab.Fraisoro	9/12/92	7,9	2510	100	134	544	74,2		0,17	524	160	< 0,03	< 1	131	0,2	4,28	1,52	0,22	0,06						< 4	92,1										
56	Lab.Fraisoro	21/12/92	7,9	2600	24	21	515	70,1		0,07	258	< 20	< 0,03		139		2,93	2,44	0,06	< 0,02						21,2	218										

Anexo 6.4.4. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Ventas. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	VENTAS	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	S04	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	CO3	Cr VI	Temp.
57	Lab.Fraisoro	4/1/93	7,9	2560	17	16	653	154		0,04	256	< 20	< 0,03		150		2,62	4,13	0,06	0,02					28,5	165												18,0
58	Lab.Fraisoro	18/1/93	7,5	3780	19	14	777	272	213	0,06	364	< 20	< 0,03		181	0,7	2,9	14,6	0,18	< 0,02					91,2	135												19,5
59	Lab.Fraisoro	11/3/93	7,9	9210	2,7	60	1780	605	532	2,56	907	90	< 0,03	< 1	585	0,2	5,44	5,12	0,16	0,22					< 20	119												
60	Lab.Fraisoro	15/3/93	7,9	9870	2,6	8	2750	745	742	3,3	1160		< 0,03	< 1	618	0,2	5,64	4,86	0,14	0,2																		
61	Lab.Fraisoro	30/3/93	7,8	9850	2,3	6	2150	680	870	2,68	1033	20	< 0,03	< 1	580	0,22	6,48	4,48	0,18	0,12					< 10	< 10												
62	Lab.Fraisoro	14/4/93	7,8	8160	11	50	1830	555	840	1,47	849	30	< 0,03	< 1	503	0,4	5,54	5,52	0,52	0,16					< 1	116												
63	Lab.Fraisoro	27/4/93	7,9	4740	8	22	1590	321	247	0,61	381	< 20	< 0,03	< 1	229	0,2	2,64	4,16	0,26	0,04					*345*	168												
64	Lab.Fraisoro	11/5/93	7,9	8270	4,8	9	1670	475	511	0,97	689	30	< 0,03	< 1	499	0,2	4,16	4,48	0,16	0,12					18,6	82,8												
65	Lab.Fraisoro	24/5/93	7,9	9050	3,5	11	1710	549	547	1,45	604	140	< 0,03	< 1	480	0,7	4,16	4,1	0,2	0,16	0,04	0,54	0,1	0,94	60,3	83,3												18,0
66	Lab.Fraisoro	7/6/93	8,1	10500	3,3	18	2380	712	692	2,35	898	90	< 0,03	< 1	559	0,2	6,26	5	0,18	0,26	< 0,04	0,5	0,14	1,3	< 20	< 20												19,5
67	Lab.Fraisoro	21/6/93	8,1	11000	2	6	2540	826	753	3,93	864	80	< 0,03	< 1	712	0,4	5,08	3,2	0,12	0,2	0,04	0,4	0,08	0,06	< 20	< 4												
68	Lab.Fraisoro	5/7/93	8	7630	5	14	1660	534	453	0,53	642	130	< 0,03	< 1	382	0,6	3,76	5,2	0,2	0,04	0,06	0,62	0,12	1,02	34	115		990	250	112	38,8							18,0
69	Lab.Fraisoro	19/7/93	8,1	9340	3	7	2112	734	637	3,17	791	46	< 0,03	< 1	543	0,3	4,2	0,98	0,08	0,08	0,06	0,1	< 0,04	0,16	14,2	43,2	3190	1196	339	101	54,8							18,5
70	Lab.Fraisoro	2/8/93	8	10800	5	7	2569	721	781	4,05	850	70	< 0,03	< 1	640	0,4	4,86	3,7	0,08	0,14	0,04	0,08	< 0,04	0,6	10,1	< 2	3830	1245	339	92,5	59,5							19,0
71	Lab.Fraisoro	16/8/93	8,1	11000	1,6	8	2250	915	729	3,48	998	< 20	< 0,03	< 1	697	0,3	4,3	3,74	0,16	0,3	0,04	0,08	< 0,04	< 0,04	< 20	< 20	4020	1600	392	120	64,4							19,0
72	Lab.Fraisoro	30/8/93	7,9	8690	10	15	1990	621	562	0,81	556		< 0,03	< 1	459	0,8	3,7	4,2	0,08	0,08	0,06	0,06	< 0,04	0,1	18,3	37,4	2740	1150	250	73,4	56							17,9
73	Lab.Fraisoro	13/9/93	8,3	11500	1,7	4	2300	973	822	4,59	976		< 0,03	< 1		0,3	3,82	3,82	0,12	0,18	< 0,04	0,12	< 0,04	< 0,04	< 2	19,8	4080	1150	437	166	71					60		18,6
74	Lab.Fraisoro	27/9/93	8,1	7230	11	47	1820	520	349	1,26	605		< 0,03	< 1		< 0,2	4,14	4,8	0,12	0,1	0,1	0,18	< 0,04	0,04	< 8	166	2080	1030	222	191	47,7							
75	Lab.Fraisoro	11/10/93	8,1	9930	3,5	19	2420	720	681	1,3	699		< 0,03	< 1	500	< 0,2	3,86	4,44	0,1	0,3	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	23,1	71,8	3050	1260	304	125	57,8	< 0,1						19,9
76	Lab.Fraisoro	25/10/93	8,1	9000	3,6	17	2080	566	524	0,7	615		< 0,03	< 1	424	0,2	3,12	4,06	0,06	0,18	0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	64,7	120	2660	1090	249	83,2	46,1	< 0,1						16,2
77	Lab.Fraisoro	8/11/93	7,7	6720	16	34	855	373	299	0,4	440		< 0,03	< 1	263	0,2	3,5	3,92	0,08	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	46,4	141	1830	696	175	159	39,2	< 0,1	130					17,1
78	Lab.Fraisoro	22/11/93	8	9250	8	36	2170	677	623	1,71	730		< 0,03	< 1	502	0,3	5,7	4,72	0,06	0,42	< 0,04	0,12	< 0,04	< 0,04	14	*558*	3200	1280	344	160	54,4	< 0,1	222	5,35				17,0
79	Lab.Fraisoro	13/12/93	8,2	8800	3,4	6	2110	661	602	1,29	330		< 0,03	< 1	460	0,18	3,56	4,54	0,04	< 0,04	0,04	0,08	< 0,04	< 0,04	25,1	73,5	3004	1090	237	127	51,7	< 0,1	460	1,57				16,9
80	Lab.Fraisoro	3/1/94	7,9	7130	5	6	1750	608	595	2,78	562	40	< 0,03	< 1	394		3,3	4,38	0,1	0,32	< 0,04	0,1	0,04	< 0,04	18	79,2	2500	996	239	110	46,2	< 0,1	211	0,7				16,3
81	Lab.Fraisoro	17/1/94	7,7	4610	8,1	16	1040	230	199	1,26	317	30	< 0,03	< 1	199		1,92	2,5	0,08	0,06	0,04	0,16	< 0,04	0,06	21,8	119	1340	591	118	153	30,8	< 0,1	109	0,69				16,1
82	Lab.Fraisoro	31/1/94	8,1	8250	5	11	1890	564	519	1,36	613	< 20	< 0,03	< 1	433		3,62	4,22	0,06	0,16	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	22,3	75,5	2700	1070	251	110	48,1	< 0,1	222	0,74				15,9
83	Lab.Fraisoro	14/2/94	7,8	7910	19	39	1980	495	416	2,15	584		< 0,03	< 1	354	2,4	5,52	3,74	0,06	0,12	< 0,04	0,16	0,04	< 0,04	27,2	98,9	2420	1090	220	112	50,3	< 0,1		0,5				16,9
84	Lab.Fraisoro	28/2/94	7,8	8930	10	141	2020	664	568	2,32	684	90	< 0,03	< 1	408	3,8	14,2	4,28	0,16	0,06	0,04	0,14	< 0,04	< 0,04	< 8	87,1	2840	1170	291	135	49	< 0,1	251	0,37				17,5
85	Lab.Fraisoro	14/3/94	7,8	6460	24	43	1440	404	343	0,25	419	45	< 0,03	< 1	270	3,1	3,88	3,54	0,06	0,12	< 0,04	0,36	< 0,04	< 0,04	44,2	124	1870	771	153	151	38	< 0,1	230					16,0
86	Lab.Fraisoro	5/4/94	7,8	3620	13	24	776	163	145	0,6	209	34	< 0,03	< 1		1,5	2,13	2,19	0,13	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02		29	119	1060	413	86,8	140	27,9	< 0,1		1,64				11,4
87	Lab.Fraisoro	18/4/94	7,9	6250	10	9	1400	351	343	1,64	420	50	< 0,03	< 1	290	1,1	3,42	2,96	0,03	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	36,3	93,3	1880	749	125	96	36,5	< 0,1		0,56				15,5
88	Lab.Fraisoro	2/5/94	7,6	10900	3,5	47	2800	718	642	0,74	779	70	< 0,03	< 1		1,3	5,94	3,27	0,12	0,12	0,02	0,13	< 0,02	< 0,02	< 4	5,02	3300	1530	215	244	69,8	< 0,1	197					20,2
89	Lab.Fraisoro	16/5/94	7,9	10400	3,5	46	2390	711	626	4,01	738	70	< 0,03	< 1		2,5	5,02	3,43	0,04	0,13	0,02		< 0,02	< 0,02	26,9	120	3230	1400	325	140	61,8	< 0,1	457					19,9
90	Lab.Fraisoro	6/6/94	7,9	9940	10	33	2070	695	559	2,91	726	50		< 1		1,6	3,72	3,6	0,06	0,09	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	70,2	95,2	3170	1240	282	137	55,8	< 0,1	203					20,0
91	Lab.Fraisoro	27/6/94	7,9	9340	3,5	11	2070	644		0,83	616	60		< 1		0,7	3,07	1,8	0,03	0,08	0,02	0,12	< 0,02	< 0,1	160	47,2	2750	1170	283	178	50,8	< 0,1	172					21,0
92	Lab.Fraisoro	11/7/94	8,2	11670	2,4	26	2850	948	780	4,76	776	40		< 1			2,43	1,12	< 0,02	0,1	0,03	0,04	< 0,02	< 0,1	< 2	128	3780	1490	396	332	61,8	< 0,1	242					21,6
93	Lab.Fraisoro	1/8/94	8	10000	3	19	2020	692	643	1,72	725	50		< 1		1,2	3,21	2,1	0,1	0,03	0,02	0,02	< 0,02	< 0,1	155	67,4	3000	1100	274	104	42,7	< 0,1						20,5
94	Lab.Fraisoro	22/8/94	8,2	12100	1,6	24	2850	941	789	5,02	864	50		< 1		0,9	4,83	3,09	0,09	0,16	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 4	65,5	4040	1400	396	116	55,8	< 0,1	131					20,5
95	Lab.Fraisoro	3/10/94	8,1	8070	4,1	23	1650	492	443	0,71	523	46		< 1		0,6	3,59	3,3	0,07	0,07	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,1	76,2	112	2480	1100	256	59,4	49,2	< 0,1	121					19,8
96	Lab.Fraisoro	25/10/94	7,9	7570	3,8	86	1570	519	422	1,15	514		< 0,03	< 1	334	1,3	5,13	3,45	0,1	0,09	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	42	68,4	2400	1130	262	135	42,6	< 0,1	128					20,0
97	Lab.Fraisoro	14/11/94	8,1	6810	3,5	9	1610	429	360	1,43	442	45	< 0,03	< 1			2,86	3,27	0,08	0,05	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	51,5	83,3	2100	1060	295	147	47,3	< 0,1	194					18,1
98	Lab.Fraisoro	13/12/94	7,9	9520	2,5	11	2180	665	526	2,14	639	40	< 0,03	< 1	442	0,96	4,3	4,04	0,08	0,1	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,1	43,2	32,4	2880	1130	281	134	49,7	< 0,1						18,0
99	Lab.Fraisoro	26/12/94	7,8	7020	3,7	9	*1540*	*434*	364	*1,24*	440	25	< 0,03	< 1	324	0,39	2,54	3,16	0,06	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	*< 0,5*	*37*	*2210*	*656*	*160*	*75,7*	*45*	0,19						17,6

Anexo 6.4.4.(continuación). Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Ventas. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	URTETA	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Temp.
1	LABEIN	28/9/89	6,1	1346		9,2	200	10,24	17		33	10					0,3	1	0,07						3,35	103		102	25	118	11				0,5	
2	LABEIN	8/11/89	7,3	2789		67	510	85,76	284		1405	900					0,7	8,1	0,13	< 0,1		< 0,1	< 0,05		0,12	140		315	90	294	67,8				0,9	
3	LABEIN	2/1/90	7,5	1352		19,2	210	8,96	11		50	14					< 0,1	0,69	< 0,05	< 0,1		< 0,1	< 0,05		0,1	89		126	25	187	14				0,8	
4	LABEIN	15/2/90	7,2	2001		120	270	18	22		500	250					3,9	3,6	0,07						1,2	97		103	114	186	27				5,3	
5	Lab.Fraisoro	16/7/90	6,9	1780	8	11	243	36,7		< 0,03	465		< 0,03		43	0,44	1,6	1,28	0,09	0,009															
6	Lab.Fraisoro	1/8/90	7,1	1790	25	27,5	250	40,4		< 0,03	651		< 0,03		50	0,13	2,97	1,44		0,01															
7	Lab.Fraisoro	16/8/90	6,9	1870	8	9	250	17		< 0,03	541		< 0,03		39	0,18	0,73	1,18	0,03	0,006															
8	Lab.Fraisoro	11/9/90	7	2270	14	19	331	61,2		0,04	514		< 0,03			0,43	1,46	1,35	0,07	0,009															
9	Lab.Fraisoro	25/9/90	6,9	2600	550	1870	306	89,2		< 0,03	1220		< 0,03			0,56	1,51	4,7	0,16	0,009															
10	Lab.Fraisoro	10/10/90	7,2	2650	55	95	355	87,3		0,08	960		< 0,03			2,11	6,6	4,45	0,07	0,011															
11	Lab.Fraisoro	23/10/90	7,2	2400	11	11	352	78,8		0,06	167		< 0,03			0,25	0,88	1,37	0,06	0,011															
12	Lab.Fraisoro	7/11/90	7,2	3260	30	55	456	75		< 0,03	1170		< 0,03			1,43	8,64	9,35	0,29	0,032															
13	Lab.Fraisoro	20/11/90	7,3	2050	320		266	94,4		0,07	862		< 0,03		190	4,91	7,2	2,75	0,82	0,039															
14	Lab.Fraisoro	3/12/90	7,2	2970	20	21	424	7,6		0,1	1132		< 0,03		214	1,78	7,6	3,3	0,48	< 0,02			0,009	0,023											
15	Lab.Fraisoro	4/12/90	7,2	3000	25	25	207	47,5		0,15	776		< 0,03		94	0,91	6	3,5	0,41	0,002			< 0,01	0,013											
16	Lab.Fraisoro	18/12/90	7,1	3400	23	34	402	0,79			1162				297		0,79	3,49	0,628	0,03				0,015											
17	Lab.Fraisoro	9/1/91	7,3	2930	20	32	395	85			784		< 0,03	< 0,5	116	0,66	4,78	2,15	0,365	0,016	< 0,01		< 0,01	0,12											
18	Lab.Fraisoro	30/1/91	7,1	2710	26	38	326	67		0,11	559		< 0,03		100	0,693	3,87	2,4	0,3	0,02															
19	Lab.Fraisoro	12/2/91	7	2190	26	47	253	74,5		0,03	604		< 0,03	< 0,5	62,3	0,699	5,02	2,8	0,24	0,014															
20	Lab.Fraisoro	6/3/91	7,5	2530	14	18	312	130		0,06	443		< 0,03			1,65	2,11	1,88	0,21	0,009															
21	Lab.Fraisoro	25/3/91	6,8	2750	41	61	363	138		0,05	219				16,6	1,92	16,1	4,5	0,34	0,014															
22	Lab.Fraisoro	10/4/91	6,4	2470	19	23	336	98		0,12	711		< 0,03		121	0,461	3,08	2,58	0,28	0,004															
23	Lab.Fraisoro	23/4/91	6,9	2900	35	36	341	149		0,41	418		< 0,03		149	0,372	6,05	5,7	0,34	< 0,01															
24	Lab.Fraisoro	7/5/91	7,1	2670	42	36	331	178		0,13	1220		< 0,03		116	0,865	6,38	3,2	0,39	0,023															
25	Lab.Fraisoro	20/5/91	6,9	2930	27	23	439	88,5		0,21	809		< 0,03		107	0,562	5,98	2,75	0,7	0,017															
26	Lab.Fraisoro	4/6/91	7,1	2500	33	194	328	84		0,2	804		< 0,03		62,8	1,08	5,79	1,15	0,8	0,16															
27	Lab.Fraisoro	18/6/91	7,4	2530	15	28	347	119		0,12	357		< 0,03	18	101	< 0,2	1,45	1,01	0,1	0,08															
28	Lab.Fraisoro	9/7/91	7,3	1730	430	819	240	60	82,5	< 0,2	360		< 0,03	< 0,5	57,9	42	32	2,8	< 0,2	< 0,04															
29	Lab.Fraisoro	23/7/91	7,3	2550	23	50	385	54,7	105	0,29	746		< 0,03	< 0,5	62,9	0,24	2,8	1,6	< 0,04	0,16															
30	Lab.Fraisoro	28/8/91	7,4	2470	170	770	372	48,2	72	0,05	882		< 0,03		59	0,46	48	3,44	0,44	0,36															
31	Lab.Fraisoro	16/10/91	7	3430	125	32	506	12,9	123	< 0,03	908		< 0,03		120	0,3	11,7	4,18	0,14	< 0,04															
32	Lab.Fraisoro	31/3/92	7,1	3420	67	111	492	88	226	0,08	2140	740	< 0,03		135	3	21,4	5,6	3,8	< 0,04															
33	Lab.Fraisoro	23/4/92	7	3540	47	253	546	119	180	0,17	1330	660	< 0,03		179	8,4	21,6	4,4	0,38	< 0,04															
34	Lab.Fraisoro	5/5/92	7,1	3190	32	614	516	151	205	1,46	857	500	< 0,03		176		52,6	6,2	3	< 0,04															
35	Lab.Fraisoro	26/5/92	7,2	3520	28	344	540	172		1,04	815		< 0,03		147		24,5	3,87	0,47	0,04															
36	Lab.Fraisoro	17/6/92	7,2	3730	63	312	609	209		< 0,03	1470	120	< 0,03		142		37,2	4,37	0,4	< 0,04															
37	Lab.Fraisoro	8/7/92	7	3570	35	239	535	210		0,16	409	64	< 0,03		148		21,3	4,33	0,22	< 0,04					< 2	34,4									
38	Lab.Fraisoro	27/7/92	7,4	2640	30	69	382	105		0,11	194	40	< 0,03		80		4,27	2,73	0,11	< 0,02						34,5									
39	Lab.Fraisoro	8/9/92	7,4	3440	150	695	688	164		0,04	1170	340	< 0,03		108		34	4,09	0,7	0,02					< 0,8	78,9									
40	Lab.Fraisoro	13/10/92	7,2	4680	73	145	916	278		0,12	1480	680	< 0,03		195		17,3	4,03	0,67	0,02					< 8	68,4									
41	Lab.Fraisoro	26/10/92	7,1	5340	92	26	786	121		0,48	1580	670	< 0,03		296		10	3,88	1,22	0,04					< 8	70									
42	Lab.Fraisoro	10/11/92	7	4310	56		24,2	182	211	0,38	1210	120	< 0,03		187	13	20,8	3,82	0,8	0,04															
43	Lab.Fraisoro	23/11/92	7,3	4470	98	1280	702	222	201	0,04	708	250	< 0,03		129	80	51	4,08	1	0,16					< 4	68,5									
44	Lab.Fraisoro	9/12/92	6,9	2950	80	70	434	149	120	0,49	1320		< 0,03	< 1	135	0,6	8,42	2,28	1,94	0,06					< 4	130									
45	Lab.Fraisoro	21/12/92	7,1	3870	45	50	673	212		0,71	387	< 20	< 0,03		128		5,64	3,56	0,24	< 0,02					< 4	62,4									

Anexo 6.4.5. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Urteta. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	URTETA	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	Fósforo	Temp.
46	Lab.Fraisoro	4/1/93	7,3	3420	65	194	664	270		0,23	425	< 20	< 0,03		122		18,2	4,23	0,36	0,02					< 20	77,3										18
47	Lab.Fraisoro	18/1/93	7,4	3910	51	293	699	308	243	0,20	606	100	< 0,03		116	1,4	24,2	11,10	0,48	< 0,02					33,4	99,1										18,8
48	Lab.Fraisoro	1/2/93	7,4	4000	44	163	762	255	231	< 0,03	352	< 20	< 0,03	< 1	107	1,1	17,2	3,92	0,36	0,12					53	62,3										20
49	Lab.Fraisoro	15/2/93	7,5	4040	73	378	768	226	192	0,14	1160	50	< 0,03	< 1	105	5,7	46	5,80	0,96	0,06					39,7	50,6										18
50	Lab.Fraisoro	11/3/93	7,2	4230	66	179	591	230	183	0,39	436	110	< 0,03	< 1	126	1	33,5	4,22	0,66	0,16					< 10	51,2										17,7
51	Lab.Fraisoro	15/3/93	7,2	4290	39	100	817	301	285	0,49	358	40	< 0,03	< 1	131	0,7	16,4	4,14	0,34	0,04					68,6	50,2										18,1
52	Lab.Fraisoro	30/3/93	7,5	3770	17	8	607	220	172	0,23	263	< 20	< 0,03	< 1	98	0,22	4,94	3,38	0,22	< 0,04					46,8	< 10										18,5
53	Lab.Fraisoro	14/4/93	7,5	4260	30	19	675	244	243	0,45	847	20	< 0,03	< 1	121	0,2	4,88	3,32	0,34	0,04					23,5	112										19,5
54	Lab.Fraisoro	27/4/93	7,5	4040	58	38	710	223	192	0,27	1620	650	< 0,03	< 1	166	0,3	10,8	2,86	1,56	< 0,04					< 20	127										17,7
55	Lab.Fraisoro	11/5/93	7,2	4740	40	48	860	295	252	0,23	335	40	< 0,03	< 1	140	0,3	10,6	4,26	0,4	0,14					< 10	55,6										18
56	Lab.Fraisoro	24/5/93	7,1	4600	66	1520	679	220	200	0,21	414	90	< 0,03	< 1	56	0,4	14,1	3,86	0,4	0,1	0,08	0,5	0,1	0,96	47,9	48										18,8
57	Lab.Fraisoro	7/6/93	7,4	4600	30	53	772	239	230	0,31	269	< 20	< 0,03	< 1	108	0,5	11,8	5,20	0,3	0,1	< 0,04	0,4	0,14	1,48	< 4	35,8										20
58	Lab.Fraisoro	21/6/93	7,3	4730	32	51	816	251	230	0,29	320	60	< 0,03	< 1	119	0,6	11,6	4,44	0,3	0,08	0,04	0,4	0,12	0,08	58,3	46										18
59	Lab.Fraisoro	5/7/93	7,4	3900	41	57	641	200	159	0,08	201	70	< 0,03	< 1	85	1,1	6,14	3,48	0,28	< 0,04	0,04	0,54	0,12	1,08	62,3	45,9		369	118	110	36,7					17,7
60	Lab.Fraisoro	19/7/93	7,4	4090	59	341	744	224	198	0,06	499	40	< 0,03	< 1	102	1,2	35	1,10	0,44	< 0,04	0,08	0,08	< 0,04	0,4	53,2	41,2	1730	405	139	147	50,3					18,1
61	Lab.Fraisoro	2/8/93	7,5	4300	54	141	763	254	213	0,12	270	80	< 0,03	< 1	98	1	22,2	5,02	0,2	< 0,04	0,04	< 0,04	< 0,04	0,5	32,4	19,5	1880	384	*384*	212	52,6					18,5
62	Lab.Fraisoro	16/8/93	7,3	4540	29	65	788	263	208	0,13	333	< 20	< 0,03	< 1	105	0,5	8,26	4,50	0,2	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	25	29,9	2010	459	152	243	56,7					19,5
63	Lab.Fraisoro	30/8/93	7,4	4000	54	392	793	224	175	0,08	585		< 0,03		124	1,2	33,7	4,74	0,36	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	51,7	< 40	1580	458	140	71,4	49,6					17,7
64	Lab.Fraisoro	13/9/93	7,8	4400	30	55	814	257	220	0,22	252		< 0,03	< 1		0,3	7,2	4,30	0,16	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	46,2	33,6	1890	437	147	106	51,6					
65	Lab.Fraisoro	27/9/93	7,6	4700	34	230	869	283	231	0,66	425		< 0,03			1,2	28,6	3,60	1,04	0,06	0,04	0,12	< 0,04	< 0,04	< 4	58,4	1880	511	170	117	54,4					
66	Lab.Fraisoro	11/10/93	7,7	4710	37	29	847	268	210	0,26	256	55	< 0,03	< 1	109	< 0,2	8,8	4,50	0,24	0,08	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	52,8	44,2	1830	474	168	140	59,1	< 0,1				19,7
67	Lab.Fraisoro	25/10/93	7,6	3640	240	472	622	185	146	0,04	178	29	< 0,03	< 1	71	6,4	25	3,84	0,26	0,28	0,08	0,06	< 0,04	< 0,04	73,4	53,3	1390	354	120	57,8	42	< 0,1				14,8
68	Lab.Fraisoro	8/11/93	6,9	3620	75	415	376	163	127	0,04	281	69	< 0,03	< 1	78	1,7	34,1	3,32	0,62	0,1	< 0,04	0,1	0,04	0,2	75,8	38,2	1210	339	110	74,6	33,5	< 0,1	85			15,4
69	Lab.Fraisoro	22/11/93	7,6	4500	53	42	921	257	207	0,07	434		< 0,03	< 1	113	1	54	5,20	0,44	0,48	0,04	0,16	< 0,04	< 0,04	85,7	45,7	1810	486	160	71,1	55,8	< 0,1	152	0,51		16,5
70	Lab.Fraisoro	13/12/93	7,6	4300	43	146	697	227	206	0,07	178		< 0,03	< 1	110	0,38	15,8	4,38	0,22	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,08	98,6	86,5	1696	450	146	149	59,8	< 0,1	98	3,56		15,5
71	Lab.Fraisoro	3/1/94	7,3	5070	70	47	1050	389	333	0,67	549	205	< 0,03	< 1	176		9,84	4,66	0,68	0,2	0,04	< 0,04	< 0,04	0,04	< 4	54,8	2280	574	192	160	69,6	< 0,1	109	6,08		15,3
72	Lab.Fraisoro	17/1/94	7,2	3410	75	406	639	175	177	0,34	544	180	< 0,03	< 1	134		38,9	3,70	1,08	0,14	0,04	0,14	< 0,04	0,12	< 4	64,3	1410	358	118	114	39,3	< 0,1	119	0,158		14,1
73	Lab.Fraisoro	31/1/94	7,4	4280	54	193	760	233	191	0,16	293	55	< 0,03	< 1	88		17,1	4,84	0,34	0,14	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,14	57	48,6	1730	427	128	176	51,4	< 0,1	83	1,34		15,4
74	Lab.Fraisoro	14/2/94	7,4	4480	60	32	811	246	202	0,33	345	170	< 0,03	< 1	111	1,1	6,64	1,18	0,78	0,26	0,06	0,14	0,04	< 0,04	< 4	60	1760	459	134	166	54,6	0,12		3,34		14,7
75	Lab.Fraisoro	28/2/94	7,2	4370	26	16	791	242	197	0,16	201	32	< 0,03	< 1	84	0,6	4,6	4,80	0,18	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	63,1	35,8	1680	450	146	234	53,8	< 0,1	39,8	2,33		16,4
76	Lab.Fraisoro	14/3/94	7,3	2820	26	36	482	131	103	0,05	120	39	< 0,03	< 1	56	1,4	5,94	3,12	0,12	< 0,04	< 0,04	0,4	< 0,04	< 0,04	54,2	36,5	1070	256	72,2	180	33,9	< 0,1	80			14
77	Lab.Fraisoro	5/4/94	7	3600	40	36	639	158	142	0,25	613	370	< 0,03	< 1	100	1,4	5,3	2,84	1,05	0,02	0,02	0,05	< 0,02		21,5	82,6	1290	334	99,6	208	40,2	0,17		0,945		13,3
78	Lab.Fraisoro	18/4/94	7,7	4950	200	139	815	260	241	0,39	1490	920	< 0,03	< 1	200	4,2	15,2	5,14	4,05	0,05	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 4	*172*	1840	390	117	208	52,7	0,47		0,058		13,2
79	Lab.Fraisoro	2/5/94	7,1	4490	68	292	731	239	200	0,06	414	70	< 0,03	< 1		4,2	14,4	5,06	1,03	0,03	0,02	0,07	< 0,02	< 0,02	13,2	48,2	1740	461	123	151	54,7	< 0,1	216			18,1
80	Lab.Fraisoro	16/5/94	7,3	4520	150	256	880	213	177	< 0,03	229	96	< 0,03	< 1		9,2	9,7	4,98	0,48	0,06	0,03		< 0,02	< 0,02	83,4	46,4	1590	457	136	154	53,5	< 0,1	160			16,7
81	Lab.Fraisoro	6/6/94	7,6	4200	35	35	*599*	*199*	187	*0,13*	180	30		< 1		0,6	5,1	4,90	0,18	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	*89,8*	*39,7*	*1560*	*377*	*112*	*165*	*496*	*< 0,1*	42			17,5
82	Lab.Fraisoro	27/6/94	7,7	3300	41	81	*385*	*152*		*0,07*	142	28		< 1		1,6	5,83	2,07	0,08	< 0,02	0,03	0,03	< 0,02	< 0,1	*86*	*35,3*	*1090*	*353*	*104*	*163*	*384*	*< 0,1*	81			17
83	Lab.Fraisoro	11/7/94	7,7	4460	22	60	*912*	*242*	196	*0,13*	188	20		< 1		0,4	1,9	1,29	< 0,02	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	*48,9*	*67,7*	*1480*	*119*	*133*	*< 120*	*50,8*	*< 0,1*	77			20,6
84	Lab.Fraisoro	1/8/94	7,8	4360	22	44	874	211	170	0,09	202	32		< 1		1,2	1,57	0,72	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	68,3	24,1	1260	396	129	133	44,3	< 0,1				19,2
85	Lab.Fraisoro	22/8/94	7,7	4550	18	26	821	238	240	0,06	187	10		< 1		0,2	1,25	0,70	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	60,6	34,9	1420	293	130	120	54	< 0,1	35			18,7
86	Lab.Fraisoro	13/9/94	7,9	3700	16	19	714	188	149	0,05	190			< 1		0,2	1,94	1,87	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	72,6	71,6	1180	415	122	157	43,1	< 0,1				19,3
87	Lab.Fraisoro	3/10/94	7,8	6030	60	82	1210	292	258	0,15	466	62		< 1		1	9,55	3,00	0,57	< 0,02	0,02	0,02	< 0,02	< 0,1	10,4	22,4	1940	752	180	67,8	63	0,27	65			17,9
88	Lab.Fraisoro	25/10/94	7,7	5310	48	60	1060	316	249	0,15	263		< 0,03	< 1	118	0,7	5,58	4,00	0,25	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	65,8	*< 0,4*	1800	682	177	142	57,2	< 0,1	42			17,5
89	Lab.Fraisoro	14/11/94	7,8	4280	43	74	991	211	167	0,06	187	38	< 0,03	< 1		1,9	4,1	2,99	0,2	< 0,02	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,1	72,2	45,9	1400	496	144	137	44,3	< 0,1	109			16,5
90	Lab.Fraisoro	13/12/94	7,8	5250	23	44	1200	268	213	0,24	233	90	< 0,03	< 1	96	1,08	4,61	1,92	0,1	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	109	38	1460	597	162	11,7	65,6	< 0,1				20
91	Lab.Fraisoro	26/12/94	7,8	7150	70	28	*1620*	*411*	347	*0,31*	586	220	< 0,03	< 1	212	1,16	8,45	3,01	0,86	0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	*< 0,5*	*31,2*	*2200*	*590*	*166*	*89*	*75*	0,21				15,9

Anexo 6.4.5.(continuación). Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Urteta. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. (m-1) y Tª (°C).

Nº	Procedencia	SASIETA	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2	CO3	Temp.
1	Lab.Fraisoro	10/4/91	6,3	769	10	< 5	23,8	1,48		0,04	52		< 0,03	0,8	32,4	0,147	1,14	2,7	0,06	0,003															
2	Lab.Fraisoro	22/4/91	6,9	702	5,2	17,5	25,7	4,55			268		< 0,03		22,4		2,7	0,98	0,09	0,054															
3	Lab.Fraisoro	7/5/91	6,7	1184	83	168	71	38,3		0,04	1430		< 0,03		66,2	0,59	7,58	2,37	0,19	0,087															
4	Lab.Fraisoro	20/5/91	6,8	1000	27	21	42,7	14		< 0,03	836		< 0,03		56,3	1,509	6,58	3,8	0,92	0,042															
5	Lab.Fraisoro	4/6/91	7	864	25	63	28,9	7,74		0,03	144		< 0,03	16	30,9	< 0,2	2,06	1,59	< 0,1	0,14															
6	Lab.Fraisoro	18/6/91	7,7	880	48	34	31,3	0,05		0,06	84		< 0,03	< 0,5	31,5	< 0,2	2,76	1,77	0,04	0,09															
7	Lab.Fraisoro	9/7/91	7,2	932	2,1	23	32,7	1	16,5	< 0,2	28		< 0,03	< 0,5	8,8	< 0,2	1,8	2,2	< 0,04	< 0,04															
8	Lab.Fraisoro	23/7/91	7,2	980	7	212	32	8,6	23	0,17	< 15		< 0,03			0,13	1,5	2,8	< 0,04	< 0,04															
9	Lab.Fraisoro	31/3/92	7,4	3410	77	70	349	200	204	0,06	1245	520	< 0,03		240	0,92	21,4	5,56	0,52	< 0,04															
10	Lab.Fraisoro	23/4/92	7,2	3520	90	72	338	141	143	0,14	1330	450	< 0,03		412	1	30,2	6,2	0,36	< 0,04															
11	Lab.Fraisoro	5/5/92	7,3	3050	98	*1120*	354	228	240	0,25	1140	420	< 0,03		350		*95,2*	*20*	*0,64*	*0,12*															
12	Lab.Fraisoro	26/5/92	7,7	5070	98	144	549	382		0,47	950		< 0,03		482		29,8	6,92	0,14	0,08															
13	Lab.Fraisoro	17/6/92	7,9	7070	66	33	771	490		0,56	*2960*	320	< 0,03		6,8		20,6	2,88	0,2	< 0,04															
14	Lab.Fraisoro	8/7/92	7,8	5290	*> 1000*	*3120*	634	620		0,04	1740	80	< 0,03		378		*68,4*	6,02	0,47	< 0,04					21,4	15,4									
15	Lab.Fraisoro	27/7/92		7800	25	36	882	545		0,27	1260	260	< 0,03		655		7,28	0,4	0,13	0,02															
16	Lab.Fraisoro	15/9/92	8,3	9470	38	129	1038	780		0,15	1300	270	< 0,03		750		10,6	2,04	0,15	0,16					61,5	24,3									
17	Lab.Fraisoro	26/10/92	7,2	5830	125	308	847	159		0,09	1430	550	< 0,03		404		52,4	14,2	0,44	0,1					54,2	33									
18	Lab.Fraisoro	10/11/92	7,3	6300	125		915	263	308	0,05	909	260	< 0,03		329	0,7	19,7	7,6	0,22	0,06															
19	Lab.Fraisoro	23/11/92	7,5	6120	130	176	806	375	326	0,4	796	160	< 0,03		363	2,4	36,5	6,52	0,24	0,04					< 8	< 8									
20	Lab.Fraisoro	9/12/92	7,1	3820	83	48	484	171	194	0,18	335	30	< 0,03	< 1	169	< 0,2	19,6	3,26	0,22	< 0,04					< 8	< 8									
21	Lab.Fraisoro	21/12/92	7,1	13400	200	99	5010	580		0,46	1460	310	< 0,03		450		0,81	7,3	0,22	< 0,02					< 20	44,1									
22	Lab.Fraisoro	4/1/93	7,2	9150	120	65	1570	590		0,48	903	120	< 0,03		470		32,5	5,24	0,2	0,04					< 10	< 10									
23	Lab.Fraisoro	18/1/93	7,2	10200	120	65	2690	670	922	0,82	1024	140	< 0,03		421	1,10	32,1	10,6	0,32	0,04					< 20	< 20									
24	Lab.Fraisoro	1/2/93	7,3	10600	96	124	2310	730	1100	0,87	1000	110	< 0,03	< 1	544	0,70	20,8	2,94	0,34	0,12					< 20	< 2									
25	Lab.Fraisoro	15/2/93	7,7	11400	68	75	3090	630	822	0,76	968	205	< 0,03	< 1	560	0,20	24,8	2,1	0,3	0,22					< 20	< 20									
26	Lab.Fraisoro	11/3/93	7,4	6330	68	29	1260	456		0,59	528	110	< 0,03	< 1	245	< 0,2	8,46	2,82	0,18	0,16					< 20	57,4									
27	Lab.Fraisoro	16/3/93	7,3	7290	83	29	1300	555	465	0,54	768	120	< 0,03	< 1	370	0,30	22,4	3,52	0,16	0,18					< 40										
28	Lab.Fraisoro	30/3/93	7,3	7620	79	34	1250	520	472	0,36	627	60	< 0,03	< 1	331	0,40	11,9	3,68	0,18	0,08					< 10	< 10									
29	Lab.Fraisoro	14/4/93	7,3	6670	63	26	1110	444	638	0,33	551	50	< 0,03	< 1	250	0,40	16	3,22	0,34	0,14					< 10	26									
30	Lab.Fraisoro	27/4/93	7,4	3580	32	21	541	233	192	0,06	243	< 20	< 0,03	< 1	104	0,20	8,18	1,6	0,12	< 0,04					< 20	54,9									
31	Lab.Fraisoro	11/5/93	7,3	9270	94	33	1390	478	518	0,49	741	90	< 0,03	< 1	424	0,40	29,2	3,34	0,16	0,1					< 10	< 10									
32	Lab.Fraisoro	24/5/93	7,5	8600	69	29	1160	523	468	0,43	502	80	< 0,03	< 1	720	0,40	17,8	2,84	0,2	0,12	0,04	0,56	0,1	1,84	< 10	< 10									18
33	Lab.Fraisoro	7/6/93	7,6	8400	67	23	650	523	539	0,61	503	130	< 0,03	< 1	310	0,30	14,6	3,02	0,22	0,24	< 0,04	0,52	0,16	1,22	< 4	< 4									19,5
34	Lab.Fraisoro	21/6/93	7,5	8780	53	18	1350	602	568	0,66	551	80	< 0,03	< 1	350	0,50	16,4	2,74	0,16	0,08	0,04	0,44	0,12	0,06	< 10	< 10									20
35	Lab.Fraisoro	5/7/93	7,4	7490	45	24	1100	554	466	0,28	538	90	< 0,03	< 1	295	0,50	14,9	2,5	0,24	< 0,04	0,06	0,94	0,18	1,54	< 10	< 10		926	317	109	149					20
36	Lab.Fraisoro	19/7/93	7,6	7450	50	21	1144	545	477	0,49	446	51	< 0,03	< 1	313	0,50	10,6	0,62	0,08	0,04	0,04	0,06	< 0,04	< 0,04	< 10	< 10	3930	856	282	103	130				19,6
37	Lab.Fraisoro	2/8/93	7,6	8420	44	60	1761	664	593	0,36	539	100	< 0,03	< 1	335	0,60	14,9	2,94	< 0,04	0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,34	9,76	< 2	4410	1097	380	127	183				19,6
38	Lab.Fraisoro	16/8/93	7,7	8680	48	27	1260	724	565	0,34	567	31	< 0,03	< 1	351	0,30	9,42	1,96	0,16	0,12	< 0,04	0,08	< 0,04	< 0,04	< 8	< 8	4720	1110	358	126	159				20,7
39	Lab.Fraisoro	30/8/93	8	8110	35	29	1330	625	538	0,2	474	70	< 0,03	< 1	295	0,20	6,42	1,5	0,06	0,04	0,04	0,06	< 0,04	0,14	3,73	19,6	3980	958	326	105	141			19,7	19,8
40	Lab.Fraisoro	13/9/93	8,2	8700	45	173	1290	694	599	0,52	586		< 0,03	< 1		0,30	10,7	0,76	0,34	0,06	0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 2	< 2	4630	912	377	74,1	160			45,5	19,5
41	Lab.Fraisoro	27/9/93	8	6210	24	20	1000	471	374	0,3	358		< 0,03	< 1		0,50	5,12	1,5	0,04	0,04	0,04	0,16	< 0,04	< 0,04	24,5	56	3250	727	232	119	108				
42	Lab.Fraisoro	11/10/93	7,6	8520	50	39	1450	677	456	0,2	588	130	< 0,03	< 1	335	0,30	16,8	2,6	0,08	0,2	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,06	< 8	25,5	4110	972	302	122	137	0,12			17,1
43	Lab.Fraisoro	25/10/93	7,5	7620	45	22	1160	535	496	0,35	490		< 0,03	< 1	340	< 0,2	10,8	2,42	0,1	0,14	< 0,04	0,16	< 0,04	0,04	< 8	11,6	3780	814	262	62,3	117	< 0,1			15
44	Lab.Fraisoro	8/11/93	7,5	8070	66	45	720	588	492	0,64	516		< 0,03	< 1	375	< 0,2	12,9	2,38	0,04	0,12	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	12	29,6	4100	784	299	156	132	< 0,1	174		14,7
45	Lab.Fraisoro	22/11/93	7,7	8320	55	17	1230	613	582	0,61	550		< 0,03	< 1	403	0,30	11,8	1,94	0,06	0,28	< 0,04	0,08	< 0,04	0,04	< 8	< 8	4300	961	306	169	126	< 0,1	200	0,73	13
46	Lab.Fraisoro	13/12/93	8,2	7500	36	16	946	563	550	0,22	513		< 0,03	< 1	300	0,44	8,04	1,92	0,06	0,24	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	< 8	< 8	4272	851	244	121	109	0,11	176	0,5	11,8
47	Lab.Fraisoro	3/1/94	7,9	8400	*60*	27	*1540*	*895*	831	*1,23*	700	110	< 0,03	< 1	456		11,5	0,6	0,06	0,24	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,06	*8,48*	*17,9*	*4720*	*130*	*352*	*76*	*139*		215	*0,19*	13,1
48	Lab.Fraisoro	17/1/94	7,4	5550	42	9	*559*	*271*	337	*0,36*	372	30	< 0,03	< 1	239		9,26	1,7	0,06	0,06	0,04	0,1	< 0,04	0,06	*64,6*	*526*	*2790*	*394*	*223*	*202*	*54,3*	< 0,1	145	*2,46*	13,1
49	Lab.Fraisoro	31/1/94	7,7	8310	55	15	1300	649	568	0,75	540	60	< 0,03	< 1	360		13,8	1,6	0,1	0,18	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,14	< 8	7,85	4400	972	307	99,4	132	0,13	363	0,16	11,5
50	Lab.Fraisoro	14/2/94	7,5	7500	50	29	1320	575	488	0,31	469		< 0,03	< 1	270	1,50	12,3	2,32	0,06	0,08	< 0,04	0,14	0,08	< 0,04	< 8	26,2	3900	818	252	53	116	0,1		0,057	12,4
51	Lab.Fraisoro	28/2/94	7,5	7530	50	18	1160	584	483	0,35	466	55	< 0,03	< 1	250	1,20	10,3	2,32	0,04	< 0,04	0,04	0,14	< 0,04	< 0,04	< 8	1,61	3990	860	301	106	119	< 0,1	105	0,121	14,2
52	Lab.Fraisoro	14/3/94	7,5	7050	35	18	1020	554	450	0,15	436	50	< 0,03	< 1	290	0,80	8,52	2,48	< 0,04	0,08	< 0,04	0,3	< 0,04	< 0,04	< 8	< 8	3690	762	247	84	113	< 0,1	332		13,5
53	Lab.Fraisoro	5/4/94	7,5	6490	17	12	1010	468	412	0,17	380	70	< 0,03	< 1	220	1,60	4,38	1,75	0,07	0,06	< 0,02	0,02	< 0,02		5,14	38	3300	664	224	121	104	0,18		0,995	11,2
54	Lab.Fraisoro	18/4/94	7,7	8100	45	19	1120	580	559	0,4	520	55	< 0,03	< 1	300	1,30	10,8	2,43	< 0,02	0,07	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 8	6,46	4150	748	*532*	30,7	117	< 0,1		0,131	13,1
55	Lab.Fraisoro	2/5/94	7,6	8160	68	83	1160	585	545	0,19	507	55	< 0,03	< 1		0,60	14,7	2,55	0,04	0,09	0,02	0,08	< 0,02	< 0,02	< 8	56,4	4250	917	268	118	125	< 0,1			18,1
56	Lab.Fraisoro	16/5/94	7,6	7930	47	34	1200	623	507	0,21	486	55	< 0,03	< 1		0,70	5,5	1,91	0,02	0,09	< 0,02		< 0,02	< 0,02	1,98	13	4140	889	301	105	126	< 0,1	400		16,6
57	Lab.Fraisoro	6/6/94	7,8	8110	36	38	888	669	544	0,2	510	15				0,60	8,6	1,68	0,03	0,05	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	21,1	7,48	4260	831	291	85,2	124	< 0,1			18,5
58	Lab.Fraisoro	27/6/94	8,1	8000	34	23	1130	838		0,1	478	55				0,60	4,08	0,15	< 0,02	0,04	0,02	0,1	< 0,02	< 0,1	32,3	< 8	4150	837	324	91,3	119	< 0,1	96		19
59	Lab.Fraisoro	11/7/94	8	7910	34	35	1220	688	583	0,07	478	45		< 1		0,60	3,82	0,33	0,02	0,04	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	18,4	4040	803	330	*< 240*	103	< 0,1			21,2
60	Lab.Fraisoro	1/8/94	8,4	7740	26	36	1310	676	618	0,26	474	25		< 1		0,80	3,02	0,16	0,04	< 0,02	< 0,02	0,06	< 0,02	< 0,1	4,34	< 0,8	3510	733	300	*< 1*	96,8	< 0,1			22,8
61	Lab.Fraisoro	22/8/94	8,7	7190	30	15	1320	588	498	0,41	413	79		< 1		0,60	7,9	0,15	0,08	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	1,29	23,5	3410	692	318	37,6	124	< 0,1	131		22
62	Lab.Fraisoro	13/9/94	8,7	7580	18	12	1110	659	543	0,61	558			< 1		0,40	4,61	0,07	0,05	0,08	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	11	54,5	3500	979	370	51	117	< 0,1			20,7
63	Lab.Fraisoro	3/10/94	8,4	7010	7	10	900	530	479	0,16	429			< 1		0,30	1,92	0,14	0,04	0,04	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	43,5	121	3240	844	309	23	116	< 0,1	116		18
64	Lab.Fraisoro	25/10/94	8,2	5550	5,2	12	708	461	360	< 0,03	300		< 0,03	< 1	182	0,20	1,04	0,14	0,03	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	30,7	64,3	2790	684	233	46,3	98,8	< 0,1	60		17,5
65	Lab.Fraisoro	14/11/94	8,2	4550	9,2	40	684	339	284	< 0,03	236	14	< 0,03	< 1		0,40	1,55	0,19	0,07	0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	31,7	80,9	2150	533	202	52,3	85,9	< 0,1	146		15
66	Lab.Fraisoro	13/12/94	8,4	7310	8	21	1050	605	505	0,33	435	< 10	< 0,03	< 1	286	0,48	2,92	0,18	0,08	0,06	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	10,9	43,5	3310	748	283	42,6	116	< 0,1			14,5
67	Lab.Fraisoro	26/12/94	8	4090	8,2	11	*563*	*266*	231	*< 0,03*	221	< 10	< 0,03	< 1	137	0,21	1,08	0,36	0,05	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	*34,3*	*66,7*	*1820*	*128*	*401*	*56,9*	*63,4*	< 0,1			11,7

Anexo 6.4.6. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Sasieta. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. y Tª (°C).

Nº	Procedencia	SAN BLAS	pH	Cond.	Turbidez	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Hg	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	S04	HCO3	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	T.O.C.	NO2	CO3	Temp.
1	Lab.Fraisoro	27/4/93	7	525	28	103	676	355	378	0,79	3390	3000	< 0,03	< 1	72	0,8	20,2	4,14	0,36	0,2					< 20	546										
2	Lab.Fraisoro	11/5/93	7,9	5460	8,7	60	607	312	326	1,12	865	40	< 0,03	< 1	608	0,8	5,16	1,3	0,22	0,1					< 10	300										
3	Lab.Fraisoro	24/5/93	8,1	6500	12	75	724	403	358	3,45	859	< 20	< 0,03	< 1	730	0,3	3,14	0,9	0,2	0,18	0,04	0,5	0,08	1,3	286	< 10										20
4	Lab.Fraisoro	7/6/93	8,1	6070	30	184	763	376	383	1,7	842	160	< 0,03	< 1	565	1,2	7,8	1,12	0,3	0,12	< 0,04	0,48	0,16	1,26	< 4	353										20,5
5	Lab.Fraisoro	21/6/93	8,1	5430	28	91	642	343	340	1,53	652	60	< 0,03	< 1	524	0,6	5,52	0,3	0,14	0,12	< 0,04	0,28	0,06	0,04	< 4	504										21,5
6	Lab.Fraisoro	5/7/93	8,2	6350	6,1	81	797	511	460	4,5	1020	390	< 0,03	< 1	766	0,8	6,72	0,46	0,26	0,08	0,06	0,98	0,18	1,42	< 10	295		627	433	165	79,5					19,5
7	Lab.Fraisoro	19/7/93	8,1	6150	18	159	781	479	439	1,88	897	47	< 0,03	< 1	307	1	8,34	0,12	0,18	0,14	0,06	0,18	< 0,04	0,04	< 4	432	2700	590	401	116	71,5				41,3	19,9
8	Lab.Fraisoro	2/8/93	8	5660	25	315	721	426	387	0,72	829	135	< 0,03	< 1	610	0,9	14	0,62	0,16	0,16	0,08	0,14	< 0,04	0,72	< 1	517	2450	526	358	128	69,8					20,4
9	Lab.Fraisoro	16/8/93	8	5490	125	594	562	425	364	1,01	676	14	< 0,03	< 1	591	70	17,4	0,56	0,28	0,48	0,06	0,12	< 0,04	< 0,04	< 4	459	2530	617	365	154	71,4					21,7
10	Lab.Fraisoro	30/8/93	8	6380	40	178	1480	499	462	2,08	1140		< 0,03	< 1	737	1,1	11,6	0,42	0,08	0,14	0,06	0,04	< 0,04	< 0,04	8,5	712	2500	1080	729	185	120					20,9
11	Lab.Fraisoro	13/9/93	8,3	5700	60	627	726	460	404	1,79	818		< 0,03	< 1		0,3	15,1	0,54	0,22	0,18	0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,04	9,27	480	2520	570	353	43,3	61,2				80,4	19,2
12	Lab.Fraisoro	27/9/93	7,8	7580	0,9	54	968	644	537	1,11	3000		< 0,03	< 1		< 0,2	5,92	2,12	0,1	0,24	0,06	0,16	< 0,04	< 0,04	< 8	237	3860	723	492	363	76,6					
13	Lab.Fraisoro	11/10/93	8,1	6910	3,4	21	968	546	488	3,11	1080		< 0,03	< 1	872	< 0,2	2,32	1,3	0,08	0,5	0,04	< 0,04	< 0,04	0,08	< 8	364	3150	637	444	199	70,9	< 0,1				18,3
14	Lab.Fraisoro	25/10/93	8,2	7560	15	45	965	622	634	0,71	1600		< 0,03	< 1	1150	< 0,2	3,96	0,76	0,08	0,42	0,04	0,16	< 0,04	< 0,04	< 8	170	3650	626	477	156	59	< 0,1				20,1
15	Lab.Fraisoro	8/11/93	7,9	7330	20	129	527	606	557	1,41	1200		< 0,03	< 1	1120	0,3	12,2	1,98	0,14	0,4	< 0,04	0,1	< 0,04	0,36	6,87	180	3700	541	435	271	64	0,16	584			22,4
16	Lab.Fraisoro	22/11/93	8,3	6940	1,8	52	904	577	583	4,31	1160		< 0,03	< 1	993	0,3	3,6	0,66	0,08	0,7	< 0,04	0,12	< 0,04	0,04	< 8	226	3300	638	465	179	58	< 0,1	419	0,34	48,8	19
17	Lab.Fraisoro	13/12/93	8,3	6800	13	147	707	540	422	3,17	1079		< 0,03	< 1	959	0,7	6,62	1,06	0,16	0,3	0,06	0,16	< 0,04	< 0,04	6,18	223	3530	537	370	164	54,2	< 0,1	399	0,16	75,9	19,2
18	Lab.Fraisoro	3/1/94	7,8	3990	45	99	541	338	303	2,74	607	115	< 0,03	< 1	398		5,84	1,06	0,08	0,22	0,06	< 0,04	< 0,04	0,06	< 4	414	1810	371	254	193	54,6	< 0,1	213	0,1		14,3
19	Lab.Fraisoro	17/1/94	7,3	4800	72	27	884	380	316	0,55	1550		< 0,03	< 1	213		9,14	1,94	0,16	0,2	0,06	0,14	< 0,04	0,04	5,44	27,9	2360	559	164	105	86,9	0,73	577	0,488		12,8
20	Lab.Fraisoro	31/1/94	8,2	5590	6	23	694	444	371	3,56	715	50	< 0,03	< 1	586		3,28	1,1	0,2	0,26	0,06	< 0,04	< 0,04	0,04	< 4	446	2640	504	344	240	67,5	< 0,1	292	0,08		19,1
21	Lab.Fraisoro	14/2/94	8,1	5780	12	373	554	459	414	2,5	1050		< 0,03	< 1	576	3,5	16,9	1,68	1,02	0,3	0,22	0,22	0,04	< 0,04	< 8	287	2860	466	341	101	60,4	< 0,1		0,329		21,5
22	Lab.Fraisoro	28/2/94	8	5600	4,2	81	689	440	397	2,44	730	70	< 0,03	< 1	519	1,4	3,96	1	0,28	0,12	0,08	0,18	< 0,04	0,12	< 4	343	2420	484	374	218	65,2	< 0,1	238	0,247		21,3
23	Lab.Fraisoro	14/3/94	7,9	5200	28	771	618	409	415	2,47	2060	380	< 0,03	< 1	500	22	50,2	2,28	2,4	0,44	0,58	0,48	< 0,04	< 0,04	< 8	300	2810	406	278	224	59,8		423			
24	Lab.Fraisoro	5/4/94	7,4	4730	42	108	509	322	333	1,29	1860		< 0,03	< 1	480		17,6	2,31	0,21	0,14	0,04	< 0,02	< 0,02		< 4	172	2390	312	270	254	51,7	0,81		0,015		18,4
25	Lab.Fraisoro	18/4/94	7,8	4800	190	44	479	338	308	1,25	1080	470	< 0,03	< 1	440	1,6	4,57	1,74	0,07	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	24	164	2520	329	235	136	51,7	0,43		< 0,003		17,5
26	Lab.Fraisoro	2/5/94	7,8	5430	15	143	663	393	383	1,54	832	90	< 0,03	< 1		2,5	24,3	1,46	0,26	0,12	0,07	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 8	212	2650	425	303	160	62	< 0,1	196			23,1
27	Lab.Fraisoro	16/5/94	8	5680	15	78	636	459	420	1,72	714	70	< 0,03	< 1		1,3	1,4	1,25	0,15	0,12	0,03		< 0,02	< 0,02	< 8	198	2940	417	319	154	57,9	< 0,1	444			22,2
28	Lab.Fraisoro	6/6/94	8	6180	15	21	573	543	444	1,93	667	50		< 1		0,4	4,57	0,39	0,05	0,08	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	16,2	181	3200	470	367	109	65,5	0,12	261			22
29	Lab.Fraisoro	27/6/94	8	5230	27	145	516	518		1,08	592	50		< 1		2	6,15	0,88	0,05	0,06	0,04	0,05	< 0,02	< 0,1	33,7	149	2750	384	324	145	54,7	< 0,1	126			23
30	Lab.Fraisoro	11/7/94	8,1	5590	25	223	704	503	457	2,66	630	70		< 1		3	6,39	0,39	0,07	0,04	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	227	2750	439	368	< 120	56,8	< 0,1	227			21,7
31	Lab.Fraisoro	1/8/94	8,1	5220	34	86	733	441	404	0,55	573	55		< 1		1,8	14,5	0,3	0,07	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1	0,92	262	2340	429	308	74,7	62,8	< 0,1				22,7
32	Lab.Fraisoro	22/8/94	8,2	6340	7	115	911	593	529	1,82	827	120		< 1		2,7	14,4	0,31	0,28	0,1	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,1	2,83	197	3270	410	428	91,5	65,1	< 0,1	196			22,5
33	Lab.Fraisoro	13/9/94	8,5	5960	29	251	665	614	534	5,81	1370			< 1		3,9	21	0,43	0,25	0,1	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	203	2900	550	422	96	53,7	< 0,1				19,2
34	Lab.Fraisoro	3/10/94	8	6940	4,7	256	595	590	602	2,67	1010	90		< 1		2,2	35,3	1,27	0,13	0,17	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	144	3760	521	433	50	61,1	< 0,1	255			21
35	Lab.Fraisoro	25/10/94	8	6530	20	179	696	667	575	2,02	936		< 0,03	< 1	614	1,8	19,7	0,82	0,07	0,15	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 2	138	3580	539	459	87,4	55	< 0,1	280			20,9
36	Lab.Fraisoro	14/11/94	8	5730	> 1000	6180	724	564	838	0,31	5430	650	< 0,03	< 1		22	228	11,5	1,16	0,62	0,57	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,4	169	4170	521	461	40,6	53	< 0,1	2350			20
37	Lab.Fraisoro	13/12/94	8,3	6850	4,9	105	755	668	563	2,74	966	60	< 0,03	< 1	753	1,67	6,52	0,32	0,07	0,13	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,8	211	3190	502	417	112	66,1	< 0,1				17
38	Lab.Fraisoro	26/12/94	7,5	6410	14	18	665	553	490	1,26	1040	90	< 0,03	< 1	675	0,93	4,93	0,98	0,13	0,12	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,1		156	3310	367	336	120	60,6	0,24				21,9

Anexo 6.4.7. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de San Blas. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l), C.a.e. y Tª (°C).

Nº	*Procedencia*	*GONGORA*	Caudal	pH	Temp.	Cond.	S.S.	N-NH4	NTK	P tot.	DQO	DBO5	TOC	IC	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	Toxicidad	Color	S.gruesos
1	Lab.Góngora	**7/1/93**	0,336	6,1	7,7	9900		48,0			15200				1,7	144,0	4,0	1,5	0,1	< 0,05	0,2		0,1		1/20	ausente
2	Lab.Góngora	**11/1/93**	0,381	6,1	15,8	8890	320	41,0	49,0		10560				0,7	144,0	4,4	1,9	0,1		0,2		0,1		1/15	ausente
3	Lab.Góngora	**18/1/93**		6.2	16,5	9860	480	50,4	61,0		19680				0,5	165,0	5,2	2,1	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1		1/15	ausente
4	Lab.Góngora	**1/2/93**	0,186	6,5	19,4	4170		149,0	171,0		3350				0,5	51,0	1,5	0,7	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	ausente
5	Lab.Góngora	**4/2/93**	0,175	6,5	18,0	9280		436,8	473,2		8640														1/15	plásticos
6	Lab.Góngora	**8/2/93**	0,225	6,5	17,5	8330		224,0	240,0		6000				0,7	146,0	4,1	1,7	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1		1/15	ausente
7	Lab.Góngora	**11/2/93**	0,189	6,3	17,7	8600	450	260,0	295,0		14700				0,4	167,0	5,0	1,9	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1		1/15	ausente
8	Lab.Góngora	**10/3/93**	0,231	6,2			290	445,3	574,0		14110				1,3	140,0	3,7	1,8	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1			
9	Lab.Góngora	**23/3/93**	0,139	6,4			352	505,5	589,4		15971				2,4	154,0	4,7	2,6	0,1	< 0,05	0,3	< 0,05	< 0,1			
10	Lab.Góngora	**25/3/93**	0,181	6,6			386	340,3	398,0		10760				1,4	96,4	2,6	2,0	0,1	0,1	0,1	< 0,05	0,1			
11	Lab.Góngora	**29/3/93**	0,800	6,4			442	507,6	711,5		16000				0,6	143,1	4,5	4,7	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1			
12	Lab.Góngora	**31/3/93**	0,181	7,0			985	324,2	392,8		9960				1,7	101,0	2,9	5,4	0,1	0,1	0,1	< 0,05	0,1			
13	Lab.Góngora	**6/4/93**	0,181	6,6		5500	224	268,8	316,4		7060				0,4	63,0	2,1	1,8	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			
14	Lab.Góngora	**10/4/93**	0,139	6,5		8900	308	448,0	558,6		13040				1,2	115,0	3,8	3,0	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,1			
15	Lab.Góngora	**13/4/93**	0,161	6,6		6500	260	347,0	403,0		9400				1,0	76,0	2,7	2,1	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	0,1			
16	Lab.Góngora	**15/4/93**	4,319	6,6		760	*3832*	31,1	64,7		4600				14,4	54,6	0,7	4,3	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	0,6			
17	Lab.Góngora	**20/4/93**	0,378	6,9		7400	224	425,7	465,7		10475				1,3	2,6	3,0	2,6	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			
18	Lab.Góngora	**23/4/93**	0,189	6,9			218	393,1	446,5		9980															
19	Lab.Góngora	**26/4/93**	1,750	6,7			56	61,7	110,1		3290				*38,0*	30,5	1,8	9,0	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	0,2			
20	Lab.Góngora	**27/4/93**	1,119	6,7		3400		100,1	146,5		3952				2,9	33,0	2,1	8,3	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	0,1			
21	Lab.Góngora	**28/4/93**	0,669	6,6		4000	177	331,1	357,0		5840				3,1	44,0	2,2	7,7	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	0,1			
22	Lab.Góngora	**29/4/93**	0,528	6,7		4500	288	167,2	205,8		5837				4,5	48,0	2,6	9,2	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2			
23	Lab.Góngora	**10/5/93**		7,0		5300	246	248,6	359,8		5804				1,6	32,8	1,7	2,7	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			
24	Lab.Góngora	**17/5/93**		7,3		4500	224	216,7	266,0		4800				1,3	25,0	1,3	2,3	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			
25	Lab.Góngora	**24/5/93**		6,9		3000	138	95,5	132,0		2850				0,8	24,3	1,2	4,0	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			
26	Lab.Góngora	**31/5/93**		7,2		4000	178	119,7	177,4		4250	2350			1,1	38,0	1,8	5,3	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,1			
27	Lab.Góngora	**7/6/93**		7,0	16,8	4650	190	143,0	237,0		4800				1,3	51,0	2,3	5,0	0,9	< 0,05	0,2	< 0,05	0,1		1/15	ausentes
28	Lab.Góngora	**14/6/93**		6,6	21,5	2630	268	89,0	150,0		5100				0,4	22,6	1,2	2,3	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	ausentes
29	Lab.Góngora	**21/6/93**	0,636	6,6	15,2	2240	214	95,0	129,0		5300				0,4	10,0	1,1	0,7	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	ausentes
30	Lab.Góngora	**28/6/93**	0,136	6,4	26,3	3840	94	98,0	136,0		7150				0,7	41,3	1,9	4,1	0,1	0,1	1,9	< 0,05	< 0,1		1/20	ausentes
31	Lab.Góngora	**5/7/93**	0,189	6,8	20,5	2730	127	67,0	94,0		3850				0,8	33,9	1,3	2,4	0,1	0,1	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	ausentes
32	Lub.Góngora	**12/7/93**	0,094	6,9	15,7	3470	155	95,0	120,0		4873				0,2	24,1	1,5	1,5	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	ausentes
33	Lab.Góngora	**19/7/93**	0,069	6,8	17,2	4000	124	114,0	145,0		5333				0,3	44,0	1,8	2,0	0,1	0,1	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	ausentes
34	Lab.Góngora	**26/7/93**	0,081	6,9	16,0	3870	124	117,0	140,0		4650				0,2	40,0	2,2	1,3	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	ausentes
35	Lab.Góngora	**2/8/93**	0,033	6,9	24,2	5160	310	175,0	221,0		6415	3265	1940		0,6	57,0	2,9	2,8	0,1	0,1	0,2	< 0,05	< 0,1		1/15	partículas
36	Lab.Góngora	**9/8/93**	0,058	6,8	19,0	5460	129	196,0	224,0		7480				0,5	62,4	3,0	3,2	0,1	0,1	0,2	< 0,05	< 0,1		1/10	plásticos
37	Lab.Góngora	**17/8/93**	0,153	7,5			186	130,5	198,4	3,5	5337				1,0	31,0	1,7	4,0	0,1	0,1	0,2	< 0,05	< 0,1			
38	Lab.Góngora	**23/8/93**	0,067	7,4			150	148,7	203,1	1,6	5219				0,4	36,0	1,8	3,6	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1			
39	Lab.Góngora	**30/8/93**	0,047	7,0			812	135,5	198,1	1,7	5370				8,0	45,0	2,0	5,4	0,1	0,1	0,2	< 0,05	0,1			
40	Lab.Góngora	**6/9/93**	0,056	7,2			177	208,5	293,8	2,3	6994	4189	2060	300	1,3	57,0	2,6	4,8	0,2	0,1	0,4	< 0,05	< 0,1			
41	Lab.Góngora	**13/9/93**	0,114	7,8		4000	104	149,4	206,9		4408		1325	205	0,4	27,0	1,5	2,3	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1			
42	Lab.Góngora	**20/9/93**	0,175	7,6		3400	104	140,4	179,0	1,2	3774				0,6	29,0	1,5	2,7	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1			
43	Lab.Góngora	**27/9/93**	0,186	7,1		3000	206	100,4	129,6	1,1	3342		1107	107	2,8	38,0	1,5	3,6	2,7	< 0,05	0,2	< 0,05	0,1			
44	Lab.Góngora	**4/10/93**	0,222	6,9		3100	104	101,1	151,0	1,1	3572	2260	932	38	0,8	32,2	1,5	3,0	0,1	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			
45	Lab.Góngora	**11/10/93**	0,258	7,1		5000	172	181,8	244,9	1,6	6195		1830	111	0,8	49,0	0,2	5,0	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2			
46	Lab.Góngora	**18/10/93**	0,528	6,8		2400	1836	73,9	117,9		4712		1290	63	2,8	39,0	1,3	4,2	0,1	0,2	0,2	< 0,05	0,4			
47	Lab.Góngora	**25/10/93**	0,106	7,2		5600	244	256,4	346,6	2,5	8372		2675	117	0,8	67,0	2,7	6,6	0,1	< 0,05	0,3	< 0,05	0,2			
48	Lab.Góngora	**2/11/93**	0,178	7,4	19,0	2620	514	88,8	151,0		3650	2191	1065	69	1,1	22,6	1,1	3,0	0,1	0,1	0,1	< 0,05	0,1	53500	1/25	tierra
49	Lab.Góngora	**8/11/93**	0,667	7,3	12,2	2430	648	82,0	102,0		1400				1,0	13,3	1,0	1,0	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/20	arenilla
50	Lab.Góngora	**15/11/93**	0,194	6,8	18,8	6650	302	288,0	343,0		8653				0,8	74,0	3,3	8,8	0,1	< 0,05	0,4	< 0,05	0,2		1/25	ausentes
51	Lab.Góngora	**22/11/93**	0,194	7,1	16,4	6230	502	257,6	330,4	1,9	6960				1,0	66,2	2,8	6,9	0,1	0,1	0,3	< 0,05	0,2	88300	1/45	ausentes
52	Lab.Góngora	**30/11/93**	2,800	6,4		1200	648	36,9	65,8	1,4	1256		353	73	4,8	16,5	0,4	1,8	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1			
53	Lab.Góngora	**7/12/93**	0,264	6,8		5800	284	243,4	324,8	2,7	6907		2430	127	1,8	64,2	2,4	7,0	0,1	< 0,05	0,3		0,2			
54	Lab.Góngora	**13/12/93**	0,219	6,8		7000	320	331,7	466,2	2,2	8700		3010		1,4	95,0	3,6	10,0	0,1	0,1	0,5		0,5			
55	Lab.Góngora	**21/12/93**	0,131	6,7		6000	298	286,8	372,7	2,3	6960		2400		1,1	81,0	2,8	8,4	0,1	< 0,05	0,4		0,3			
56	Lab.Góngora	**27/12/93**	8,500	6,6			316	13,1	21,1	0,5	424		110	60	3,8	7,9	0,2	0,4	< 0,05		< 0,05		< 0,1			

Anexo 6.4.8. Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Góngora. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l) y Tª (°C).

Nº	*Procedencia*	*GONGORA*	Caudal	pH	Temp.	Cond.	S.S.	N-NH4	NTK	P tot.	DQO	DBO5	TOC	IC	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	Toxicidad	Color	S.gruesos
57	Lab.Góngora	**3/1/94**	3,278	7,0			121	23,1	43,9	0,4	880	585	270	90	1,5	10,8	0,4	0,9	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1			
58	Lab.Góngora	**10/1/94**	3,194	6,4		1200	164	18,9	37,5	0,3	750				1,6	10,1	0,3	0,9	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1			
59	Lab.Góngora	**17/1/94**	7,694	6,5	17,5	1160	99	20,0	47,0		832				0,6	5,9	0,2	0,7	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1		1/15	ausentes
60	Lab.Góngora	**24/1/94**	2,222	6,8	15,9	1540	176	36,0	55,0		325				1,4	7,3	0,4	1,0	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1		1/15	ausentes
61	Lab.Góngora	**31/1/94**	0,172	6,9	15,5	6810	286	320,0	375,0		6995				1,1	96,0	2,9	9,0	0,1	< 0,05	0,3	< 0,05	0,3		1/20	ausentes
62	Lab.Góngora	**7/2/94**	0,558	6,6	22,3	4070	571	160,0	193,0		2700				4,2	43,0	1,5	4,4	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2		1/25	ausentes
63	Lab.Góngora	**14/2/94**	0,364	6,8	14,3	5930	285	260,0	336,0		5050				1,5	60,0	2,0	5,6	0,1	0,1	0,3	< 0,05	0,2		1/25	ausentes
64	Lab.Góngora	**21/2/94**	0,194	6,7	18,5	4780	333	185,0	252,0		9915				6,3	44,2	1,7	4,0	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2		1/20	ausentes
65	Lab.Góngora	**28/2/94**	0,756	6,8	15,1	3000	628	101,0	140,0	*15,0*	7950	2614			4,7	42,0	1,1	4,9	0,1	0,2	0,1	< 0,05	0,3		1/25	plásticos
66	Lab.Góngora	**7/3/94**	0,297	7,2	23,5	7300	454	305,0	392,0	3,8	6500	3732	2400	218	2,2	75,0	2,6	6,7	0,1	< 0,05	0,3	< 0,05	0,3		1/30	ausentes
67	Lab.Góngora	**14/3/94**	0,136	7,0	22,5	8060	300	295,0	392,0	4,7	7330				1,1	46,5	2,3	3,6	0,1	< 0,05	0,3	< 0,05	0,1		1/30	ausentes
68	Lab.Góngora	**21/3/94**	0,217	7,0	23,2	9930	504	448,0	532,0	6,2	8500				1,4	108,0	3,9	16,6	0,2	0,1	0,4	< 0,05	0,3		1/35	ausentes
69	Lab.Góngora	**28/3/94**	0,150	7,3	13,3	7430	316	314,0	378,0	3,1	5000				1,7	53,0	2,3	4,5	0,1	< 0,05	0,3	< 0,05	0,2		1/20	ausentes
70	Lab.Góngora	**5/4/94**	0,583	7,3	15,4	3370	130	100,0	112,0	0,9	2430	1296	361		1,0	27,7	1,0	3,0	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	0,1		1/15	ausentes
71	Lab.Góngora	**11/4/94**	5,556	6,7	24,8	1630	1000	25,0	40,0	0,7	650				7,9	17,5	0,7	1,0	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/10	tierra fina
72	Lab.Góngora	**18/4/94**	0,150	6,9	23,0		372	262,0	364,0	2,5	6425				1,9	55,6	2,3	5,7	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2		1/10	ausentes
73	Lab.Góngora	**25/4/94**	0,106	7,1		4400	672	156,8	221,2	2,0	3648		1183		4,1	42,9	1,6	3,3	< 0,05	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2			
74	Lab.Góngora	**2/5/94**	0,056	6,9	21,0		280	310,0	378,0	3,8	6640	4543			0,8	69,0	2,6	5,5	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2		1/30	ausentes
75	Lab.Góngora	**9/5/94**	0,117	6,9	22,5	8670	285	370,0	448,0	4,9	5720				1,6	91,0	3,4	6,9	0,1	0,1	0,3	< 0,05	0,2		1/25	ausentes
76	Lab.Góngora	**16/5/94**	4,461	6,5	19,7	1880	794	29,1	35,8	0,8	750				6,5	16,1	0,6	0,4	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/15	ausentes
77	Lab.Góngora	**23/5/94**	0,106	7,3	20,0	7810	562	336,0	364,0	3,7	6625				1,4	76,2	2,3	5,9	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,2		1/25	ausentes
78	Lab.Góngora	**30/5/94**	0,119	7,2	21,0	7010	266	329,0	336,0	4,3	5790				0,7	56,7	2,3	4,7	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,1		1/20	ausentes
79	Lab.Góngora	**6/6/94**	0,047	7,6	18,5	9030	304	420,0	476,0	3,3	7560	4535			0,5	82,0	2,7	6,0	0,1	0,1	0,3	< 0,05	0,2	123900	1/35	ausentes
80	Lab.Góngora	**13/6/94**	0,731	7,2	22,3	7760	85	350,0	392,0	2,4	2500				0,3	54,9	2,2	3,4	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,1		1/20	ausentes
81	Lab.Góngora	**20/6/94**	0,069	7,3	14,4	7710	232	336,0	395,0	2,5	5460				0,3	45,1	1,9	2,9	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	0,1		1/30	ausentes
82	Lab.Góngora	**27/6/94**	0,028	7,3	16,9	4530	129	168,0	196,0		3100				0,3	17,3	0,8	1,4	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/15	ausentes
83	Lab.Góngora	**5/7/94**	0,214	7,3		7000	206	381,9	395,8	1,2	6624	3862	2140	235	0,3	17,0	1,2	1,8	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			ausentes
84	Lab.Góngora	**11/7/94**	0,014	7,1	20,5		300	297,0	364,0	1,4	5790				0,3	15,5	1,3	1,6	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/30	barro fino
85	Lab.Góngora	**18/7/94**	0,231	7,4	24,5		215	336,0	392,0	1,8	5500				0,2	15,5	1,2	1,9	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/20	ausentes
86	Lab.Góngora	**26/7/94**	0,250	7,3		6000	286	276,1	340,6	2,0	5549				0,3	23,4	1,1	1,9	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			ausentes
87	Lab.Góngora	**1/8/94**	0,131	7,2	27,1		400	476,0	520,0	2,2	13476	7377			0,3	99,5	1,8	3,2	0,1	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1		1/25	ausentes
88	Lab.Góngora	**8/8/94**	0,017	7,2	25,0		200	252,0	308,0	1,0	4188				0,2	33,1	0,9	1,3	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/25	ausentes
89	Lab.Góngora	**18/8/94**	0,086	7,3	17,7		200	185,0	246,0	1,4	2125				0,2	31,1	0,7	1,1	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/20	ausentes
90	Lab.Góngora	**22/8/94**	0,069	7,1	18,5		210	252,0	325,0	1,4	3130				0,2	40,0	0,8	1,4	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/20	ausentes
91	Lab.Góngora	**29/8/94**	0,083	7,2	19,0		195	235,0	275,0	1,2	1875				0,2	33,6	0,9	1,1	< 0,05	< 0,05	0,7	< 0,05	< 0,1		1/20	ausentes
92	Lab.Góngora	**5/9/94**	0,036	7,4	25,4		200	191,0	198,0	1,6	4325	2714	1230		< 0,1	37,9	0,9	1,2	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/30	ausentes
93	Lab.Góngora	**12/9/94**	0,119	7,2	17,7		400	336,0	408,0	1,2	9280				< 0,1	50,0	1,4	1,1	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/30	ausentes
94	Lab.Góngora	**19/9/94**	0,525	7,0	22,1		800	339,0	392,0	2,1	10100				0,3		1,4	1,4	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/35	arenilla
95	Lab.Góngora	**26/9/94**	0,028	6,9	19,0		210	280,0	346,0	1,6	7335				< 0,1	70,0	1,1	1,5	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/35	ausentes
96	Lab.Góngora	**3/10/94**	0,081	7,0	22,1	6940	215	280,0	336,0	1,3	6500	4836			< 0,1	84,6	1,4	1,7	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/20	ausentes
97	Lab.Góngora	**10/10/94**	0,506	7,1	25,8	6880	200	235,0	317,0	1,8	6750				0,9	106,0	1,5	1,8	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/30	ausentes
98	Lab.Góngora	**17/10/94**	0,347	6,8	22,9	8030	400	314,0	358,0	1,1	7560				0,3	74,0	1,3	1,4	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/30	ausentes
99	Lab.Góngora	**24/10/94**	0,017	6,9		6000	454	275,5	336,0	1,4	7360				0,6	82,0	1,3	1,4	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			ausentes
100	Lab.Góngora	**31/10/94**	0,092	7,0	21,8	10290	600	415,0	504,0	2,7	12500	8627			< 0,1	97,0	1,6	1,3	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/30	ausentes
101	Lab.Góngora	**9/11/94**	1,392	6,8	23,6	2990	700	90,0	112,0	1,9	625				12,1	72,6	1,0	1,1	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/35	arenilla
102	Lab.Góngora	**14/11/94**	0,117	6,7	24,3	5160	**512**	176,0	235,0	1,7	3875				2,0	58,6	1,8	1,8	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/30	ausentes
103	Lab.Góngora	**21/11/94**	0,083	6,8	20,4	8700	398	350,0	448,0	2,0	11480				0,5	122,0	1,6	2,0	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1		1/35	ausentes
104	Lab.Góngora	**28/11/94**	0,103	6,9	23,7	14140	592	639,0	775,0	1,9	18125				0,3	189,0	5,5	5,4	< 0,05	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1		1/35	arenilla
105	Lab.Góngora	**6/12/94**	0,242	6,8	22,1	6490	nd	224,0	291,0	3,1	6500	4748			8,5	100,3	1,4	1,9	< 0,05	0,3	0,1	< 0,05	0,2		1/35	tierra
106	Lab.Góngora	**12/12/94**	0,114	6,8	17,5	13560	nd	568,0	728,0	1,7	15166				0,5	188,0	2,3	7,7	< 0,05	< 0,05	0,2	< 0,05	< 0,1		1/35	tierra
107	Lab.Góngora	**19/12/94**	0,014	6,9	**14,9**	10330	nd	448,0	532,0	1,6	**11400**				0,6	79,9	1,8	1,2	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1			tierra
108	Lab.Góngora	**26/12/94**	0,108	6,9		7300	390	359,4	456,5	1,8	10680		3238	91	0,5	122,6	1,8	2,0	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,1	87000		ausentes

Anexo 6.4.8.(continuación). Determinaciones físico-químicas de lixiviados. Vertedero de Góngora. Unidades en mg/l, salvo pH, conductividad (µS/cm), Turbidez (UNF), Hg (µg/l) y Tª (°C).

	LAPATX	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	NO2
1	Temp.	1																													
2	pH	0,246	1																												
3	Cond.	0,624	0,226	1																											
4	Turb.	0,181	-0,29	0,006	1																										
5	S.S.	0,181	-0,037	0,055	0,356	1																									
6	Cl	0,344	0,142	0,705	0,05	0,047	1																								
7	NH4	0,475	0,266	0,632	-0,148	0,127	0,41	1																							
8	NTK	0,555	0,267	0,732	0,005	0,176	0,482	0,804	1																						
9	PO4	-0,038	0,075	0,435	-0,257	-0,213	0,287	0,275	0,202	1																					
10	DQO	0,449	-0,368	0,338	0,315	-0,088	0,288	-0,235	0,012	0,062	1																				
11	DBO5	0,306	0,215	0,417	0,174	-0,062	0,381	0,077	0,058	0,195	0,896	1																			
12	C.a.e.	0,396	-0,257	0,435	0,128	-0,174	0,188	0,018	0,197	0,282	0,589	0,355	1																		
13	Al	-0,103	-0,135	0,031	0,149	0,589	0,114	0,131	-0,115	-0,112	-0,022	-0,221	-0,098	1																	
14	Fe	0,293	-0,033	0,074	0,328	0,887	0,072	0,082	0,153	-0,147	-0,03	-0,023	-0,127	0,343	1																
15	Mn	0,271	-0,561	0,232	0,254	0,084	0,136	-0,097	0,053	0,095	0,703	0,267	0,534	0,118	0,155	1															
16	Zn	0,266	-0,16	0,097	0,109	0,287	-0,125	-0,084	-0,053	-0,055	0,253	0,033	-0,035	0,086	0,265	0,292	1														
17	Cr	0,245	-0,038	0,025	0,113	0,518	-0,151	-0,01	0,189	-0,154	-0,017	-0,018	-0,073	0,071	0,382	0,03	0,565	1													
18	Cu	0,304	0,061	0,147	-0,209	0,272	-0,305	0,11	0,101	-0,053	0,293	0,363	0,12	-0,026	0,264	0,395	0,775	0,918	1												
19	Ni	0,023	-0,102	-0,151	0,152	0,075	-0,369	-0,284	-0,272	-0,024	-0,115	-0,107	0,006	-0,15	0,114	-0,039	0,055	0,028	0,01	1											
20	Cd	0,059	-0,051	-0,052	0,01	-0,03	-0,319	-0,123	-0,174	0,012	-0,167	-0,011	-0,133	-0,237	0,049	-0,116	-0,012	0,051	0,039	0,937	1										
21	Pb	0,28	-0,036	0,052	0,406	0,464	-0,097	-0,097	-0,036	-0,014	-0,115	0,635	-0,079	-0,004	0,621	0,089	0,036	0,059	0,058	0,597	0,538	1									
22	NO3	-0,422	-0,145	-0,293	-0,087	0,017	-0,249	-0,219	-0,155	-0,193	-0,175	-0,206	-0,102	-0,089	0,066	-0,004	0,159	0,008	0,132	0,088	-0,018	-0,201	1								
23	SO4	-0,364	-0,031	-0,24	-0,29	-0,215	0,082	-0,171	-0,093	0,031	-0,128	-0,076	-0,134	-0,247	-0,16	0,045	-0,104	-0,136	-0,315	-0,067	-0,039	-0,228	0,365	1							
24	CO3H	0,692	0,459	0,947	0,03	0,046	0,483	0,93	0,937	0,139	0,545	0,569	0,665	-0,264	0,211	0,342	0,299	0,284	0,39	-0,237	-0,122	0,162	-0,439	-0,533	1						
25	Na	0,521	0,464	0,76	0,071	-0,051	0,74	0,465	0,498	0,013	0,728	0,771	0,368	-0,24	0,11	0,364	0,028	0,086	0,224	-0,178	-0,063	0,147	-0,43	-0,342	0,846	1					
26	K	0,568	0,526	0,828	-0,042	-0,125	0,617	0,532	0,534	0,143	0,559	0,539	0,638	-0,335	0,073	0,348	0,011	0,028	0,152	-0,154	-0,044	0,121	-0,481	-0,118	0,897	0,764	1				
27	Ca	0,389	0,139	0,199	-0,122	0,14	0,015	-0,016	0,045	-0,273	0,679	0,573	-0,138	0,187	0,135	0,562	0,509	0,539	0,632	0,023	0,014	0,222	0,079	-0,203	0,121	0,374	0,194	1			
28	Mg	0,645	0,37	0,695	0,019	-0,02	0,633	0,55	0,596	-0,048	0,726	0,787	0,526	-0,222	0,01	0,423	-0,026	0,032	0,139	-0,222	-0,156	0,08	-0,374	-0,356	0,865	0,83	0,573	0,495	1		
29	TOC	0,209	-0,183	0,062	0,375	-0,146	0,465	0,372	0,258	-0,024	0,514	0,606	0,433	-0,093	-0,161	-0,165	-0,063	-0,094	0,421	-0,204	-0,192	-0,135	-0,251	-0,07	0,148	0,25	0,236	-0,595	0,189	1	
30	NO2	-0,24	0,355	0,274	-0,568	-0,376	0,305	0,009	0,067	0,328	-0,191	-0,034	0,096	-0,607	-0,28	-0,084	-0,207	-0,18	0,174	0,034	0,204	0,021	0,302	0,642	0,15	0,171	0,121	0,108	0,169	-0,388	1

	S.MARCOS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	CN	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	Fenoles	TOC	NO2
1	Temp.	1																														
2	pH	0,461	1																													
3	Cond.	0,552	0,026	1																												
4	Turb.	-0,355	-0,175	0,021	1																											
5	S.S.	-0,159	-0,146	-0,068	0,728	1																										
6	Cl	0,458	0,102	0,853	-0,262	-0,047	1																									
7	NH4	0,535	-0,104	0,737	-0,056	0,007	0,59	1																								
8	NTK	0,502	0,231	0,736	-0,387	-0,284	0,636	0,842	1																							
9	PO4	0,412	-0,122	0,618	-0,381	-0,294	0,448	0,446	0,54	1																						
10	DQO	-0,254	-0,011	0,295	0,078	-0,003	0,223	0,057	-0,159	0,168	1																					
11	DBO5	0,505	-0,242	0,029	0,241	0,02	-0,009	0,037	-0,1	-0,177	0,66	1																				
12	C.a.e.	0,411	-0,026	0,761	-0,379	-0,208	0,674	0,427	0,209	0,499	0,343	0,2	0,477																			
13	Al	-0,156	-0,002	0,09	0,258	0,361	0,02	0,096	-0,04	-0,124	0,209	0,31	-0,016	1																		
14	Fe	-0,495	-0,55	0,133	0,43	0,339	0,114	0,174	-0,126	-0,032	0,317	0,604	0,083	0,275	1																	
15	Mn	0,033	-0,437	0,304	0,106	-0,006	0,258	0,237	0,408	0,115	0,355	0,538	0,268	0,146	0,577	1																
16	Zn	-0,447	0,127	0,068	0,122	0,134	0,161	-0,009	-0,131	-0,035	0,401	0,057	-0,05	0,154	0,088	0,005	1															
17	Cr	-0,28	-0,126	0,34	0,158	0,278	0,407	0,176	-0,083	0,142	0,222	0,087	0,169	-0,074	0,296	0,176	0,059	1														
18	Cu	0,179	-0,198	-0,239	0,144	0,283	-0,185	-0,129	-0,287	-0,148	-0,197	-0,33	-0,113	-0,171	-0,25	-0,325	0,059	-0,067	1													
19	Ni	-0,028	-0,356	-0,015	-0,046	-0,042	0,038	-0,111	-0,217	0,103	0,112	0,044	0,048	-0,209	0,249	0,109	0,168	0,109	-0,008	1												
20	Cd	0,05	-0,309	0,082	-0,16	-0,145	0,137	0,026	-0,13	0,282	0,03	0,038	-0,085	-0,17	0,21	0,051	-0,049	0,181	-0,035	0,884	1											
21	Pb	0,008	-0,225	-0,048	-0,065	0,005	0,008	-0,128	-0,233	-0,001	-0,011	-0,029	0,007	-0,198	0,144	-0,037	0,103	0,112	0,016	0,822	0,835	1										
22	NO3	0,175	0,099	0,106	-0,168	-0,116	0,03	0,115	-0,016	0,008	-0,022	-0,063	-0,065	-0,005	-0,128	-0,108	-0,172	-0,129	-0,081	0,198	0,13	0,206	1									
23	SO4	-0,668	-0,176	-0,427	0,256	0,096	-0,348	-0,355	-0,352	-0,175	0,03	0,033	-0,02	0,158	0,164	-0,047	0,288	-0,19	-0,133	0,059	-0,092	-0,043	0,188	1								
24	CO3H	0,528	0,612	0,963	-0,205	-0,107	0,92	0,867	0,945	0,713	0,097	-0,146	0,024	0,137	-0,12	0,06	0,13	0,287	-0,236	-0,276	-0,123	-0,088	0,209	-0,392	1							
25	Na	0,521	0,616	0,93	-0,335	-0,118	0,928	0,918	0,839	0,698	-0,06	-0,24	-0,202	-0,022	-0,177	-0,091	0,038	0,308	-0,228	-0,159	0,005	-0,069	0,178	-0,371	0,904	1						
26	K	0,604	0,708	0,914	-0,366	-0,226	0,841	0,752	0,83	0,743	0,146	-0,144	0,075	-0,01	-0,238	0,07	-0,135	0,164	-0,278	-0,184	-0,063	-0,12	0,181	-0,43	0,919	0,836	1					
27	Ca	-0,178	-0,467	-0,242	0,128	-0,113	-0,383	-0,347	-0,044	-0,128	0,625	0,499	0,826	-0,131	0,301	0,646	-0,085	-0,164	-0,139	0,249	0,065	0,094	-0,119	0,312	-0,278	-0,276	-0,161	1				
28	Mg	0,211	0,452	0,44	-0,219	-0,24	0,366	0,379	0,405	0,389	0,468	0,331	-	0,243	-0,259	0,481	-0,172	0,018	-0,429	-0,035	0,025	-0,082	0,119	-0,068	0,806	0,33	0,519	0,233	1			
29	Fenoles	-0,332	-0,486	-0,36	0,106	-0,111	-0,533	-0,534	-0,131	-0,249	0,699	0,429	0,82	-0,025	0,283	0,759	-0,217	-0,236	-0,131	0,305	-0,031	0,098	-0,195	0,18	-0,346	-0,446	-0,124	0,923	0,12	1		
30	TOC	-0,517	-0,261	-0,507	0,193	-0,077	-0,396	-0,306	-0,366	-0,19	0,451	0,773	-	-0,471	0,596	0,533	0,336	0,249	-0,229	0,325	0,532	0,016	-0,026	0,782	-0,462	-0,337	-0,311	0,665	-0,019	0,718	1	
31	NO2	-0,575	0,378	-0,535	-0,142	-0,179	-0,395	-0,451	-0,742	-0,313	-0,374	-0,402	0,032	-0,184	-0,373	-0,405	-0,393	-0,302	-0,141	-0,31	-0,202	0,769	-0,38	0,355	-0,267	-0,296	-0,319	-0,091	0,026	0,178	0,158	1

Anexo 6.5.1. Matrices de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson). Vertedero de Lapatx (arriba) y San Marcos (abajo).

PETRITEGI	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	NO2
1	Temp.	1																												
2	pH	0,489	1																											
3	Cond.	0,653	0,327	1																										
4	Turb.	-0,508	-0,07	-0,307	1																									
5	S.S.	-0,38	-0,289	-0,091	0,416	1																								
6	Cl	0,715	0,36	0,693	-0,427	-0,199	1																							
7	NH4	0,5	0,139	0,591	-0,273	-0,048	0,423	1																						
8	NTK	0,283	-0,098	0,729	-0,037	0,28	0,277	0,527	1																					
9	PO4	0,613	0,329	0,807	-0,133	-0,104	0,465	0,53	0,465	1																				
10	DQO	0,071	0,182	0,664	-0,139	-0,037	0,359	0,511	0,617	0,565	1																			
11	DBO5	-0,438	-0,049	0,38	0,206	0,461	0,08	0,266	0,252	0,316	0,607	1																		
12	C.a.e.	0,672	0,328	0,733	-0,311	-0,119	0,608	0,663	0,499	0,631	0,572	0,261	1																	
13	Al	-0,275	0,073	0,068	0,539	0,169	-0,082	0,073	0,179	-0,01	0,151	0,409	-0,107	1																
14	Fe	-0,193	-0,333	-0,132	0,375	0,664	-0,236	-0,08	0,164	-0,17	-0,047	0,275	-0,169	0,434	1															
15	Mn	-0,275	-0,445	-0,129	0,37	0,629	-0,295	-0,035	0,238	-0,159	0,157	0,453	-0,192	0,165	0,742	1														
16	Zn	-0,122	-0,149	-0,174	-0,032	-0,087	-0,117	-0,192	0,2	-0,213	-0,099	-0,037	-0,098	-0,006	-0,031	0,243	1													
17	Cr	-0,145	-0,024	0,049	0,259	0,058	-0,048	-0,017	0,138	0,034	0,226	0,259	-0,067	0,09	0,301	0,563	0,158	1												
18	Cu	-0,206	-0,236	-0,08	-0,174	-0,218	-0,058	-0,003	-0,047	-0,128	0,158	0,243	0,093	0,38	0,07	0,267	0,741	0,471	1											
19	Ni	-0,155	-0,219	0,016	0,238	0,149	-0,138	0,058	0,043	0,084	0,106	0,155	0,113	0,174	0,338	0,298	0,253	0,248	0,15	1										
20	Cd	-0,162	-0,202	-0,051	-0,03	0,101	-0,178	-0,006	0,008	-0,12	-0,138	0,166	0,004	0,082	0,292	0,094	0,043	-0,069	-0,026	0,8	1									
21	Pb	-0,055	-0,228	-0,071	0,032	0,084	-0,138	-0,079	0,002	-0,1	-0,054	0,119	0,069	-0,005	0,039	0,133	0,084	-0,057	-0,124	0,776	0,825	1								
22	NO3	-0,392	0,329	-0,156	-0,094	-0,183	-0,079	-0,246	-0,562	-0,091	-0,182	-0,135	0,049	-0,044	-0,164	-0,193	0,21	-0,003	0,533	-0,083	-0,181	-0,252	1							
23	SO4	0,032	0,106	0,135	-0,574	-0,451	0,521	-0,25	-0,315	-0,296	-0,291	-0,448	0,208	-0,426	-0,435	-0,504	0,403	-0,141	0,322	-0,129	-0,122	-0,172	0,414	1						
24	CO3H	0,141	0,052	0,477	0,44	0,276	0,058	0,855	0,912	0,355	0,684	0,38	0,025	0,517	0,332	0,437	-0,182	0,325	0,035	0,291	0,011	0,2	-0,523	-0,587	1					
25	Na	0,663	0,212	0,871	-0,518	-0,319	0,911	0,481	0,301	0,258	0,011	-0,337	0,801	-0,29	-0,308	-0,444	0,176	-0,135	0,091	0,081	0,103	0,075	-0,154	0,495	0,137	1				
26	K	0,706	0,344	0,894	-0,405	-0,342	0,894	0,605	0,412	0,314	0,059	-0,287	0,823	-0,235	-0,309	-0,405	-0,021	-0,189	-0,035	0,021	0,073	0,049	-0,338	0,308	0,277	0,96	1			
27	Ca	-0,141	-0,455	-0,022	-0,22	-0,03	0,066	-0,286	-0,143	-0,254	0,195	0,164	-0,229	0,184	-0,084	0,002	0,635	0,271	0,673	0,158	0,061	0,052	0,412	0,503	-0,21	0,247	0,005	1		
28	Mg	-0,503	-0,101	-0,286	0,811	0,421	-0,634	0,265	0,408	0,027	0,518	0,605	-0,425	0,623	0,447	0,667	-0,124	0,472	0,167	0,14	-0,021	-0,031	-0,051	-0,637	0,661	-0,535	-0,418	-0,176	1	
29	TOC	0,32	0,108	0,572	-0,301	-0,245	0,568	0,469	0,368	0,208	0,587	0,368	0,57	-0,338	-0,205	-0,305	0,254	0,446	0,278	0,647	-0,098	-0,172	-0,32	0,203	0,381	0,557	0,481	0,131	-0,361	1
30	NO2	0,074	0,833	0,254	0,211	0,111	0,218	0,536	0,452	0,739	0,121	0,523	0,572	0,477	0,152	0,196	-0,474	0,003	-0,254	0,025	0,425	0,115	-0,49	-0,49	0,487	-0,062	0,106	-0,792	0,502	0,329

VENTAS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	NO2
1	Temp.	1																												
2	pH	0,299	1																											
3	Cond.	0,77	0,395	1																										
4	Turb.	-0,523	-0,042	-0,212	1																									
5	S.S.	0,071	-0,144	-0,149	0,668	1																								
6	Cl	0,689	0,238	0,891	-0,148	-0,101	1																							
7	NH4	0,701	0,175	0,593	-0,191	-0,077	0,537	1																						
8	NTK	0,679	0,124	0,794	-0,54	-0,007	0,754	0,863	1																					
9	PO4	0,416	0,48	0,685	-0,184	-0,138	0,619	0,393	0,706	1																				
10	DQO	0,645	0,498	0,414	0,039	-0,04	0,292	0,163	-0,004	0,289	1																			
11	DBO5	0,193	-0,033	0,006	0,213	0,1	-0,021	-0,14	-0,185	-0,021	0,598	1																		
12	C.a.e.	0,577	0,449	0,806	-0,062	-0,095	0,733	0,624	0,754	0,635	0,431	0,21	1																	
13	Al	-0,15	-0,071	0,042	0,138	0,28	-0,018	-0,119	-0,236	-0,092	0,061	0,132	-0,078	1																
14	Fe	0,122	0,231	0,375	0,008	0,26	0,266	0,065	0,131	0,293	0,366	0,302	0,369	0,298	1															
15	Mn	-0,17	-0,661	-0,231	-0,067	0,018	-0,086	0,006	-0,038	-0,291	-0,403	-0,099	-0,325	-0,071	-0,147	1														
16	Zn	-0,048	-0,041	-0,096	0,169	-0,009	-0,059	-0,187	-0,235	-0,129	0,11	0,281	-0,01	0,125	0,107	0,047	1													
17	Cr	0,068	0,361	0,447	-0,273	-0,131	0,415	0,149	0,276	0,365	0,287	-0,011	0,283	-0,148	0,25	-0,124	-0,112	1												
18	Cu	0,089	0,24	0,014	0,314	0,25	0,035	-0,106	0,028	-0,042	0,037	0,375	0,312	0,228	0,121	0,096	0,479	-0,043	1											
19	Ni	-0,028	-0,052	0,088	0,234	0,099	0,049	-0,109	0,081	-0,096	0,326	0,592	0,179	0,27	0,175	0,282	0,558	0,137	0,403	1										
20	Cd	-0,011	0,096	-0,016	0,02	-0,026	-0,051	-0,053	0,135	-0,044	-0,027	0,586	-0,091	0,069	0,128	0,323	0,444	0,253	0,316	0,902	1									
21	Pb	0,084	0,125	0,109	0,08	-0,033	0,052	-0,157	0,128	-0,026	0,165	0,72	0,096	0,136	0,157	0,206	0,586	0,09	0,301	0,784	0,853	1								
22	NO3	0,199	-0,073	-0,118	-0,086	-0,173	-0,186	-0,107	-0,35	-0,32	-0,263	-0,169	-0,386	-0,027	-0,315	0,045	-0,273	-0,317	-0,205	-0,107	-0,142	-0,07	1							
23	SO4	-0,351	-0,155	-0,712	0,104	0,149	-0,675	-0,675	-0,64	-0,55	-0,465	-0,03	-0,718	0,426	-0,307	0,032	0,046	-0,427	0,123	-0,058	-0,171	-0,19	0,159	1						
24	CO3H	0,681	0,542	0,97	-0,601	-0,109	0,9	0,973	0,973	0,746	0,909	0,172	0,986	-0,237	0,222	0,014	0,047	0,38	0,044	-0,132	-0,068	0,259	-0,201	-0,613	1					
25	Na	0,771	0,112	0,9	-0,571	0,11	0,906	0,843	0,754	0,553	0,501	-0,003	0,911	-0,106	0,236	0,152	-0,189	0,361	0,087	-0,096	-0,133	-0,057	-0,151	-0,465	0,882	1				
26	K	0,672	0,559	0,383	-0,621	-0,222	0,183	0,45	0,499	0,751	0,882	0,154	0,919	-0,253	0,363	-0,447	0,4	0,483	0,067	-0,148	-0,04	0,052	-0,169	-0,225	0,909	0,318	1			
27	Ca	0,295	-0,145	0,168	-0,035	0,212	0,246	0,209	0,164	0,187	-0,037	-0,113	-0,378	0,092	-0,152	-0,117	-0,177	-0,067	-0,047	0,042	-0,171	-0,18	-0,156	0,122	0,137	0,194	-0,11	1		
28	Mg	0,639	0,341	0,739	-0,482	-0,092	0,654	0,736	0,805	0,602	0,677	0,008	0,933	-0,183	0,14	-0,075	0,106	0,309	0,049	-0,185	-0,178	-0,13	-0,283	-0,574	0,89	0,696	0,471	0,266	1	
29	TOC	-0,08	0,239	0,286	-0,119	0,005	0,348	0,315	0,378	0,247	0,028	0,361	0,63	0,217	0,141	0,273	-0,326	-0,048	0,198	0,18	0,071	-0,536	-0,209	0,046	0,325	0,298	0,19	0,053	0,396	1
30	NO2	0,036	0,353	0,326	0,07	-0,001	0,268	0,09	0,293	-0,184	0,26	0,183	0,59	-0,137	-0,006	0,186	0,063	0,654	0,104	0,189	0,076	0,189	-0,197	0,114	0,359	0,318	0,468	0,623	0,323	0,068

Anexo 6.5.2. Matrices de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson). Vertedero de Petritegi (arriba) y Ventas (abajo).

	URTETA	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	NO2
1	Temp.	1																													
2	pH	0,334	1																												
3	Cond.	0,214	0,502	1																											
4	Turb.	-0,494	0,048	-0,075	1																										
5	S.S.	-0,047	-0,164	-0,016	0,495	1																									
6	Cl	0,367	0,609	0,938	-0,055	-0,04	1																								
7	NH4	0,271	0,484	0,846	-0,052	0,023	0,865	1																							
8	NTK	0,11	0,234	0,823	-0,343	-0,116	0,75	0,814	1																						
9	PO4	-0,213	0,001	0,378	-0,067	-0,177	0,312	0,41	0,433	1																					
10	DQO	-0,398	-0,346	-0,056	0,15	0,145	-0,151	-0,229	0,157	0,07	1																				
11	DBO5	-0,551	-0,218	0,008	0,363	0,043	-0,071	-0,243	0,186	0,125	0,826	1																			
12	C.a.e.	-0,176	0,054	0,422	0,051	-0,143	0,251	0,096	0,627	0,447	0,546	0,657	1																		
13	Al	-0,362	-0,02	0,071	0,572	0,13	0,098	0,038	-0,081	-0,148	0,213	0,339	0,298	1																	
14	Fe	-0,229	-0,022	0,187	0,348	0,47	0,21	0,274	0,008	-0,043	0,185	0,13	0,022	0,283	1																
15	Mn	-0,169	-0,09	0,273	0,104	0,186	0,247	0,317	0,395	0,089	0,282	0,307	0,229	0,255	0,37	1															
16	Zn	-0,526	-0,096	0,187	0,216	0,097	0,105	0,102	0,194	0,27	0,574	0,667	0,391	0,28	0,337	0,234	1														
17	Cr	-0,326	0,096	0,12	0,218	0,177	0,169	0,173	-0,094	0,106	-0,078	-0,092	-0,126	0,073	0,461	0,052	0,046	1													
18	Cu	-0,062	-0,21	-0,102	0,398	0,592	-0,044	0,044	-0,11	0,033	0,134	0,007	-0,139	0,202	0,524	0,089	0,067	0,347	1												
19	Ni	0,029	-0,408	-0,128	-0,079	0,376	-0,261	-0,143	-0,16	0,031	-0,106	-0,142	-0,398	-0,102	0,088	0,098	-0,058	0,163	0,258	1											
20	Cd	0,219	-0,272	0,044	-0,069	0,289	-0,05	0,095	-0,011	0,137	-0,143	-0,13	-0,263	-0,173	0,045	0,181	-0,085	0,147	0,239	0,864	1										
21	Pb	0,18	-0,206	0,004	-0,071	0,353	-0,088	0,042	-0,044	0,019	-0,131	-0,133	-0,278	-0,17	0,056	0,128	-0,093	0,003	0,186	0,7	0,81	1									
22	NO3	0,273	0,406	0,228	-0,149	-0,046	0,31	0,197	0,047	-0,501	-0,475	-0,411	-0,521	0,12	-0,013	-0,072	-0,377	0,021	-0,08	-0,031	-0,092	-0,157	1								
23	SO4	-0,513	-0,226	-0,443	0,204	-0,031	-0,411	-0,383	-0,189	0,299	0,553	0,584	0,333	-0,067	-0,126	0,115	0,37	-0,009	-0,057	-0,065	-0,06	-0,102	-0,402	1							
24	CO3H	0,103	0,084	0,686	0,05	-0,152	0,51	0,869	0,846	0,51	0,308	0,161	0,605	-0,095	0,098	0,485	0,203	0,18	0,109	-0,335	0,074	0,037	-0,444	-0,147	1						
25	Na	0,326	0,381	0,915	-0,11	0,001	0,923	0,872	0,763	0,272	0,051	-0,078	0,36	-0,109	0,157	0,235	0,103	0,028	-0,085	-0,279	-0,209	-0,233	0,276	-0,534	0,573	1					
26	K	0,435	0,337	0,891	-0,165	0,044	0,863	0,894	0,764	0,419	0,055	-0,097	0,405	-0,246	0,246	0,282	0,053	0,129	-0,001	-0,294	-0,165	-0,206	0,286	-0,543	0,762	0,864	1				
27	Ca	-0,295	-0,342	-0,258	-0,086	-0,325	-0,302	-0,214	0,04	0,104	0,383	0,483	0,155	-0,043	-0,382	0,342	0,126	-0,241	-0,253	-0,091	-0,069	-0,003	-0,44	0,41	0,189	-0,302	-0,27	1			
28	Mg	0,317	0,256	0,828	-0,083	-0,049	0,803	0,808	0,937	0,395	0,355	0,257	0,483	-0,112	0,104	0,488	0,131	0,072	-0,091	-0,382	-0,277	-0,344	0,179	-0,279	0,798	0,788	0,813	0,032	1		
29	TOC	-0,124	-0,375	-0,069	0,596	0,492	-0,083	-0,088	-0,094	-0,053	0,429	0,429	0,389	0,657	0,44	0,439	0,653	0,391	0,505	0,225	-0,002	-0,143	-0,149	0,316	0,122	-0,049	-0,113	-0,138	0,022	1	
30	NO2	0,338	-0,067	0,486	-0,321	-0,408	0,546	0,712	0,674	0,46	-0,395	-0,395	0,094	-0,674	-0,479	-0,144	-0,414	-0,012	0,203	-0,294	0,41	-0,16	-0,035	0,04	0,66	0,779	0,739	0,095	0,79	-0,211	1

	SASIETA	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	NO2
1	Temp.	1																													
2	pH	0,325	1																												
3	Cond.	0,353	0,327	1																											
4	Turb.	0,012	-0,461	0,366	1																										
5	S.S.	0,238	-0,249	-0,05	0,465	1																									
6	Cl	0,236	0,078	0,832	0,507	0,029	1																								
7	NH4	0,373	0,566	0,898	0,05	-0,209	0,619	1																							
8	NTK	0,251	0,195	0,903	0,234	-0,032	0,875	0,852	1																						
9	PO4	-0,027	0,033	0,637	0,346	-0,025	0,555	0,508	0,693	1																					
10	DQO	0,204	-0,231	0,27	0,699	0,504	0,306	0,129	0,31	0,096	1																				
11	DBO5	0,191	-0,325	-0,16	0,535	0,643	-0,023	-0,517	-0,263	-0,109	0,772	1																			
12	C.a.e.	0,223	0,257	0,728	0,41	0,289	0,513	0,656	0,619	0,447	0,551	0,205	1																		
13	Al	-0,33	-0,142	0,091	0,313	0,169	0,085	0,07	0,081	-0,01	0,382	0,244	0,102	1																	
14	Fe	0,016	-0,241	0,169	0,691	0,512	0,085	0,073	0,226	0,188	0,656	0,426	0,385	0,363	1																
15	Mn	-0,19	-0,504	0,044	0,767	0,603	0,188	-0,215	-0,005	0,065	0,598	0,651	0,22	0,392	0,721	1															
16	Zn	0,26	-0,395	-0,085	0,409	0,321	0,021	-0,222	0,137	0,023	0,598	0,65	0,08	0,299	0,522	0,539	1														
17	Cr	-0,347	0,024	0,311	0,095	-0,024	0,138	0,249	0,468	0,401	0,037	-0,022	0,313	-0,264	0,06	-0,065	-0,055	1													
18	Cu	0,192	-0,375	0,154	0,312	0,18	0,094	-0,056	-0,037	0,154	0,155	0,151	0,254	-0,142	0,414	0,296	0,508	-0,183	1												
19	Ni	0,183	-0,453	0,185	0,382	-0,11	-0,104	-0,186	-0,047	0,183	0,159	0,384	0,313	-0,059	0,494	0,516	0,559	0,057	0,599	1											
20	Cd	0,196	-0,408	0,239	0,412	-0,071	-0,074	-0,171	0,038	0,313	0,213	0,498	0,249	-0,029	0,55	0,497	0,631	0,154	0,514	0,917	1										
21	Pb	0,216	-0,298	0,183	0,341	-0,052	-0,095	-0,203	-0,035	0,162	0,127	0,433	0,52	-0,127	0,451	0,386	0,565	0,112	0,434	0,825	0,79	1									
22	NO3	-0,011	0,282	-0,17	-0,117	0,387	-0,141	-0,09	-0,163	-0,375	0,344	0,568	0,329	-0,163	0,103	0,177	0,076	-0,063	-0,165	-0,297	-0,309	-0,226	1								
23	SO4	-0,068	0,345	-0,326	-0,284	-0,08	-0,093	-0,304	-0,329	-0,336	-0,155	0,088	-0,321	-0,186	-0,298	-0,163	-0,21	-0,191	-0,268	-0,336	-0,305	-0,244	0,508	1							
24	CO3H	0,044	-0,437	0,932	0,787	0,38	0,557	0,733	0,785	0,425	0,888	0,328	0,773	-0,013	0,69	0,533	0,266	0,442	0,231	0,104	0,193	0,111	-0,549	-0,699	1						
25	Na	0,239	-0,264	0,779	0,536	0,222	0,639	0,625	0,625	0,402	0,815	0,435	0,618	-0,264	0,574	0,405	0,25	0,385	0,233	0,106	0,175	0,21	-0,344	-0,374	0,776	1					
26	K	0,61	0,159	0,736	0,274	0,361	0,608	0,766	0,731	0,431	0,724	0,334	0,572	-0,267	0,269	-0,044	0,324	-0,011	0,128	-0,033	0,043	0,176	-0,252	-0,342	0,607	0,74	1				
27	Ca	-0,119	-0,558	0,387	0,596	0,146	0,209	0,215	0,217	0,232	0,375	0,452	0,546	-0,126	0,49	0,559	0,026	0,476	0,26	0,186	0,102	0,131	-0,348	-0,434	0,511	0,449	0,107	1			
28	Mg	0,285	-0,312	0,683	0,52	0,448	0,625	0,485	0,478	0,411	0,674	0,525	0,526	-0,238	0,653	0,441	0,471	0,142	0,375	0,185	0,273	0,347	-0,34	-0,424	0,713	0,807	0,728	0,387	1		
29	TOC	-0,411	-0,464	0,41	0,456	0,21	0,412	0,156	0,314	0,337	0,383	0,105	0,493	0,233	0,406	0,511	0,097	0,367	-0,226	0,366	0,274	0,139	-0,572	-0,402	0,435	0,426	0,082	0,305	0,411	1	
30	NO2	-0,453	0,099	-0,48	-0,669	-0,027	-0,537	-0,606	-0,309	-0,272	-0,385	0,955	-0,027	-0,232	-0,719	-0,56	0,251	0,325	-0,404	-0,311	-0,436	-0,065	0,738	0,415	-0,472	-0,286	-0,429	0,702	-0,45	-0,148	1

Anexo 6.5.3. Matrices de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson). Vertedero de Urteta (arriba) y Sasieta (abajo).

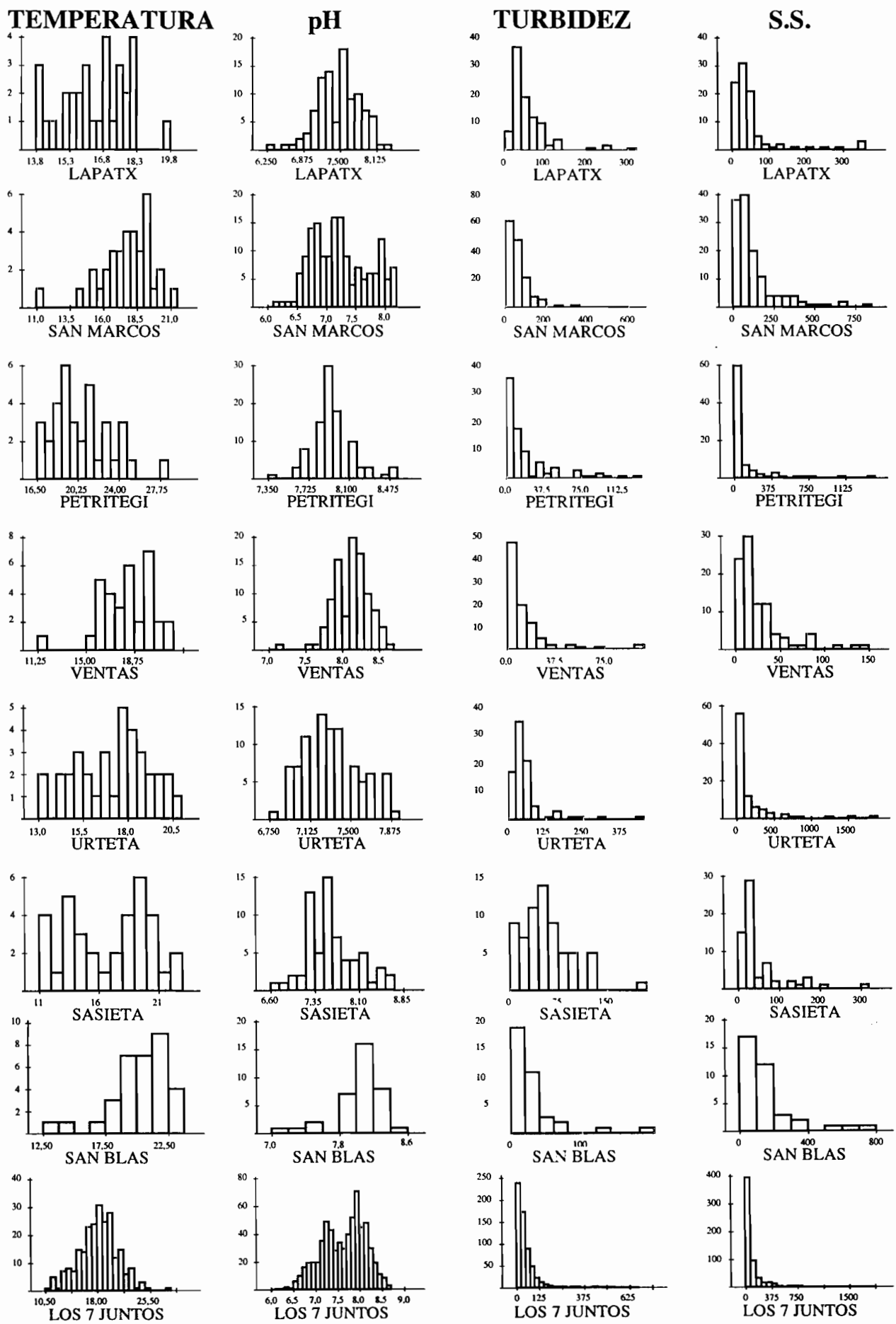
	SAN BLAS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	NO2
1	Temp.	1																													
2	pH	0,233	1																												
3	Cond.	0,281	0,403	1																											
4	Turb.	-0,282	-0,23	-0,491	1																										
5	S.S.	0,173	0,169	-0,183	0,234	1																									
6	Cl	-0,095	0,161	0,443	-0,234	-0,17	1																								
7	NH4	0,225	0,447	0,803	-0,416	-0,091	0,316	1																							
8	NTK	0,277	0,388	0,835	-0,459	-0,067	0,344	0,935	1																						
9	PO4	-0,183	0,57	0,196	-0,305	0,01	0,074	0,3	0,263	1																					
10	DQO	-0,409	-0,3	0,308	-0,054	0,071	0,256	0,228	0,263	-0,05	1																				
11	DBO5	-0,357	-0,152	-0,204	0,443	0,226	-0,104	-0,175	-0,098	0,201	0,644	1																			
12	C.a.e.	0,393	0,522	0,843	-0,383	-0,168	0,274	0,673	0,736	0,271	0,1	-0,087	1																		
13	Al	0,199	-0,036	-0,304	0,031	0,697	-0,145	-0,113	-0,047	0,11	0,374	0,457	-0,265	1																	
14	Fe	0,207	-0,142	-0,126	0,038	0,696	-0,18	-0,028	0,095	-0,004	0,265	0,298	-0,213	0,745	1																
15	Mn	-0,264	-0,762	-0,133	0,104	0,005	-0,224	-0,321	-0,228	-0,285	0,615	0,48	-0,151	0,249	0,315	1															
16	Zn	0,143	-0,052	-0,19	-0,032	0,664	-0,164	-0,198	-0,123	0,085	0,322	0,459	-0,191	0,924	0,692	0,337	1														
17	Cr	-0,171	0,122	0,358	-0,068	0,235	0,158	0,197	0,292	0,179	0,306	0,038	0,514	0,213	0,103	0,191	0,274	1													
18	Cu	-0,01	-0,063	-0,186	-0,055	0,672	-0,103	-0,17	-0,102	0,076	0,358	0,432	-0,197	0,936	0,701	0,408	0,975	0,294	1												
19	Ni	-0,018	0,14	0,09	-0,151	0,121	0,052	-0,193	-0,136	0,265	0,124	0,451	0,026	0,213	0,027	0,032	0,371	0,049	0,32	1											
20	Cd	-0,031	0,181	0,084	-0,109	-0,046	0,086	-0,212	-0,159	0,253	-0,07	0,325	0,027	-0,099	-0,158	-0,095	0,066	-0,097	-0,022	0,872	1										
21	Pb	-0,006	0,122	0,119	-0,133	-0,077	0,024	-0,196	-0,153	0,212	-0,099	0,226	0,09	-0,151	-0,148	-0,072	-0,019	-0,142	-0,086	0,778	0,866	1									
22	NO3	0,096	-0,169	-0,167	0,381	-0,107	-0,189	-0,091	-0,24	-0,239	-0,097	0,25	0,001	-0,076	-0,185	0,151	-0,095	-0,175	-0,083	-0,099	-0,099	-0,11	1								
23	SO4	0,053	0,034	-0,155	0,063	0,292	0,315	-0,297	-0,263	-0,066	-0,206	-0,047	-0,13	-0,029	0,037	-0,051	0,07	0,072	0,104	0,023	0,103	-0,048	-0,146	1							
24	CO3H	0,331	0,242	0,894	-0,442	-0,178	0,133	0,848	0,841	0,111	0,363	-0,105	0,781	-0,135	0,018	0,075	-0,08	0,287	-0,094	0,046	-0,085	-0,062	-0,058	-0,441	1						
25	Na	-0,035	0,276	0,516	-0,137	0,021	0,829	0,353	0,344	0,15	0,235	-0,173	0,344	-0,233	-0,112	-0,248	-0,168	0,291	-0,095	0,158	0,212	0,116	-0,147	0,535	0,197	1					
26	K	0,323	0,46	0,72	-0,373	-0,074	0,714	0,647	0,67	0,254	0,128	-0,307	0,588	-0,286	-0,09	-0,386	-0,215	0,173	-0,179	0,034	0,122	0,093	-0,149	0,404	0,466	0,814	1				
27	Ca	-0,076	-0,264	0,131	-0,141	-0,181	0,11	-0,067	-0,065	-0,001	0,573	0,214	0,254	0,14	-0,158	0,558	0,122	0,352	0,16	0,185	0,077	0,077	-0,038	0,12	0,097	0,165	0,134	1			
28	Mg	-0,088	-0,102	0,172	-0,03	-0,054	0,776	0,018	-0,021	-0,097	0,135	-0,074	-0,067	-0,131	-0,092	-0,146	-0,083	-0,01	-0,021	0,204	0,258	0,201	-0,071	0,532	-0,123	0,807	0,535	0,139	1		
29	TOC	-0,369	-0,302	0,25	0,325	0,059	0,201	0,001	0,015	-0,101	0,664	0,504	0,279	0,142	0,025	0,636	0,194	0,569	0,161	0,473	0,545	0,396	-0,23	-0,29	0,22	0,553	-0,158	0,302	0,435	1	
30	NO2	-0,137	-0,032	0,313	-0,335	0,166	0,753	0,428	0,388	-0,012	0,137	-0,691	-0,009	0,141	0,055	-0,116	0,306	0,438	0,368	0,752	0,557	0,137	-0,306	-0,372	0,213	0,75	0,068	-0,584	0,731	0,814	1

	GONGORA	Temp.	pH	Cond.	S.S.	NH4	NTK	DQO	DBO5	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Fósforo	TOC	IC	Caudal
1	Temp.	1																			
2	pH	0,066	1																		
3	Cond.	0,108	0	1																	
4	S.S.	0,164	-0,155	-0,027	1																
5	NH4	0,213	0,123	0,82	0,008	1															
6	NTK	0,212	0,086	0,855	0,016	0,987	1														
7	DQO	0,048	-0,316	0,812	0,117	0,651	0,712	1													
8	DBO5	0,491	-0,078	0,882	0,471	0,861	0,895	0,931	1												
9	Al	0,155	-0,234	-0,371	0,476	-0,327	-0,314	-0,235	-0,085	1											
10	Fe	0,088	-0,387	0,815	0,182	0,57	0,625	0,83	0,84	-0,096	1										
11	Mn	-0,03	-0,346	0,712	0,061	0,492	0,533	0,754	0,369	-0,187	0,777	1									
12	Zn	0,047	0,059	0,264	0,044	0,275	0,302	0,156	-0,032	0,063	0,215	0,41	1								
13	Cr	-0,107	0	0,001	-0,083	-0,017	0,023	0,065	0,007	-0,012	0,059	0,26	0,323	1							
14	Cu	0,007	0,003	-0,046	0,373	-0,081	-0,068	0,009	0,006	0,224	0,044	0,045	0,184	0,073	1						
15	Ni	0,195	-0,062	0,125	-0,087	0,091	0,107	0,133	0,244	-0,086	0,125	0,251	0,318	0,148	0,169	1					
16	Pb	-0,104	-0,03	-0,018	0,295	0,011	0,04	-0,005	-0,059	0,413	0,079	0,137	0,634	0,167	0,325	0,179	1				
17	Fósforo	0,09	0,2	0,468	0,05	0,457	0,46	0,302	0,525	-0,063	0,355	0,638	0,675	0,644	0,341	0,462	0,533	1			
18	TOC	0,752	0,035	0,899	-0,055	0,914	0,959	0,983	0,963	-0,439	0,88	0,765	0,67	0,41	0,053	0,704	0,451	0,726	1		
19	IC	1	0,558	0,633	-0,298	0,572	0,554	0,411	0,824	-0,342	0,169	0,509	0,291	0,466	-0,08	0,623	-0,063	0,517	0,449	1	
20	Caudal	0,001	-0,295	-0,507	0,099	-0,469	-0,475	-0,425	-0,508	0,409	-0,329	-0,399	-0,208	-0,257	-0,118	-0,212	0,009	-0,38	-0,562	-0,349	1

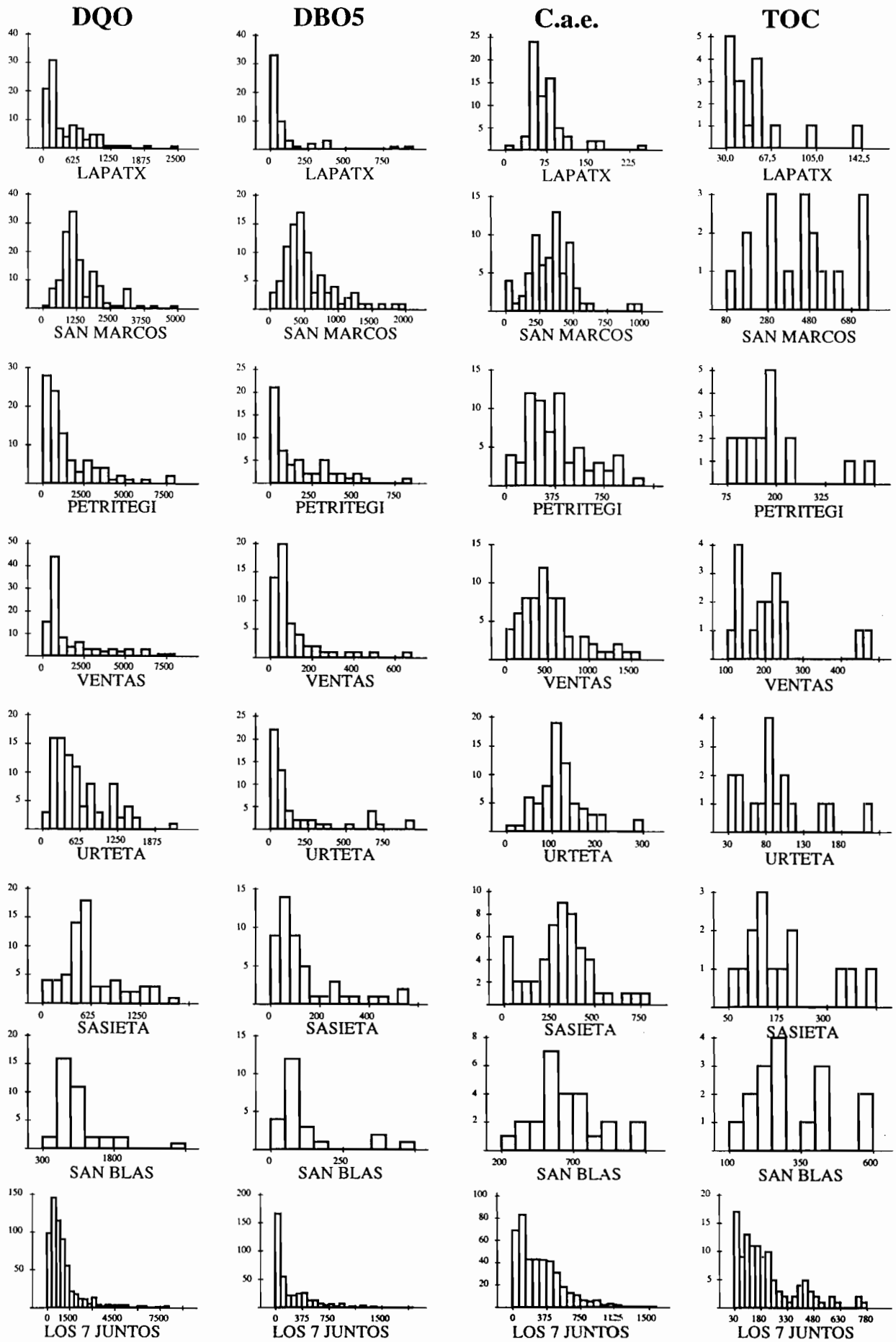
Anexo 6.5.4. Matrices de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson). Vertedero de San Blas (arriba) y Góngora (abajo).

LOS 7 JUNTOS	Temp.	pH	Cond.	Turb.	S.S.	Cl	NH4	NTK	PO4	DQO	DBO5	C.a.e.	Al	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	NO3	SO4	CO3H	Na	K	Ca	Mg	TOC	NO2	Fósforo
1	Temp.	1																													
2	pH	0,403	1																												
3	Cond.	0,301	0,435	1																											
4	Turb.	-0,341	-0,372	-0,192	1																										
5	S.S.	-0,019	-0,175	-0,095	0,435	1																									
6	Cl	0,15	0,374	0,826	-0,204	-0,128	1																								
7	NH4	0,385	0,4	0,783	-0,253	-0,059	0,546	1																							
8	NTK	0,347	0,384	0,879	-0,29	-0,092	0,702	0,899	1																						
9	PO4	0,333	0,343	0,608	-0,253	-0,059	0,276	0,573	0,583	1																					
10	DQO	0,105	0,174	0,506	-0,058	0,001	0,353	0,379	0,281	0,464	1																				
11	DBO5	-0,162	-0,421	0,029	0,355	0,157	0,001	-0,026	-0,009	0,05	0,523	1																			
12	C.a.e.	0,435	0,487	0,792	-0,269	-0,089	0,643	0,683	0,671	0,538	0,516	0,225	1																		
13	Al	-0,084	0,018	0,052	0,219	0,283	-0,05	0,077	0,011	0,082	0,157	0,206	0,005	1																	
14	Fe	-0,075	-0,165	-0,041	0,299	0,491	-0,118	0,007	-0,018	-0,045	0,029	0,196	-0,085	0,33	1																
15	Mn	-0,27	-0,462	-0,086	0,278	0,164	0,057	-0,134	0,008	-0,215	0,015	0,313	-0,142	0,069	0,285	1															
16	Zn	-0,047	-0,099	-0,046	0,135	0,165	-0,036	-0,092	-0,036	-0,065	0,112	0,202	-0,051	0,252	0,12	0,197	1														
17	Cr	0,045	0,223	0,325	-0,034	0,121	0,225	0,24	0,257	0,217	0,257	0,008	0,318	0,099	0,202	0,036	0,094	1													
18	Cu	0,257	0,133	-0,04	-0,11	0,177	-0,155	0,035	0,044	0,055	0,041	-0,067	0,032	0,455	0,116	-0,099	0,447	0,359	1												
19	Ni	0,037	-0,095	0,065	0,005	0,102	-0,004	-0,01	0,011	0,083	0,069	0,024	0,097	0,088	0,157	0,116	0,12	0,14	0,173	1											
20	Cd	0,038	-0,087	0,03	-0,036	0,027	-0,026	-0,016	-0,016	0,021	-0,059	0,019	0,018	-0,054	0,118	0,075	0,014	0,051	0,03	0,873	1										
21	Pb	0,07	-0,08	0,014	0,029	0,106	-0,034	-0,074	-0,05	-0,013	-0,011	0,011	0,068	-0,062	0,177	0,071	0,013	0,002	-0,013	0,751	0,779	1									
22	NO3	0,069	0,214	0,052	-0,161	-0,051	0,04	0,022	-0,135	-0,07	-0,207	-0,195	-0,124	0,002	-0,083	0,003	0,04	-0,025	0,336	-0,016	-0,069	-0,09	1								
23	SO4	0,347	0,314	0,012	-0,258	0,018	-0,059	0,042	0,036	0,196	-0,015	-0,149	0,288	-0,025	-0,181	-0,312	0,185	0,154	0,402	0,016	-0,03	-0,064	0,195	1							
24	CO3H	0,297	0,427	0,833	-0,186	-0,117	0,547	0,899	0,901	0,394	0,232	-0,044	0,601	-0,016	-0,111	-0,1	-0,105	0,289	0,06	0,004	-0,068	-0,058	-0,168	0	1						
25	Na	0,181	0,342	0,937	-0,288	-0,178	0,949	0,823	0,787	0,427	0,146	-0,1	0,495	-0,17	-0,194	0,11	-0,127	0,163	-0,126	0,002	-0,017	-0,038	0,058	-0,009	0,673	1					
26	K	0,572	0,521	0,712	-0,337	-0,07	0,5	0,753	0,772	0,609	0,311	-0,092	0,848	-0,1	-0,147	-0,275	-0,07	0,328	0,114	0,026	-0,005	0,007	-0,079	0,4	0,774	0,604	1				
27	Ca	0,062	0,35	0,027	0,061	0,042	0,037	-0,054	0,084	0,164	0,566	0,417	0,25	0,1	0,088	0,395	0,168	0,156	0,094	0,11	-0,007	0,045	-0,069	0,157	-0,03	0,039	0,051	1			
28	Mg	0,094	0,336	0,39	-0,033	-0,133	0,134	0,487	0,471	-0,058	-0,027	-0,122	0,096	0,028	-0,094	-0,146	-0,045	0,138	0,195	0,068	0,024	0,011	0,016	0,018	0,706	0,299	0,368	-0,131	1		
29	TOC	0,075	-0,189	0,345	0,199	0,175	0,242	0,366	0,402	0,304	0,781	0,704	0,525	0,079	0,22	0,227	0,199	0,445	0,1	0,15	-0,068	0,042	-0,288	0,069	0,358	0,262	0,345	0,367	-0,061	1	
30	NO2	0,247	0,264	0,045	-0,251	-0,026	0,037	0,021	0,017	-0,129	-0,315	-0,276	-0,114	-0,268	-0,081	-0,166	0,045	-0,009	0,398	0,009	0,219	0,122	0,445	0,305	0,02	0,041	0,071	-0,104	0,201	0,345	1
31	Fósforo	•	0,311	0,655	0,117	-0,079	0,409	0,086	0,194	0,842	0,164	-0,053	•	0,485	0,21	-0,21	0,092	0,749	-0,396	0,057	0,194	-0,346	0,34	0,426	0,436	0,586	0,362	-0,158	-0,16	0,345	0,345	1

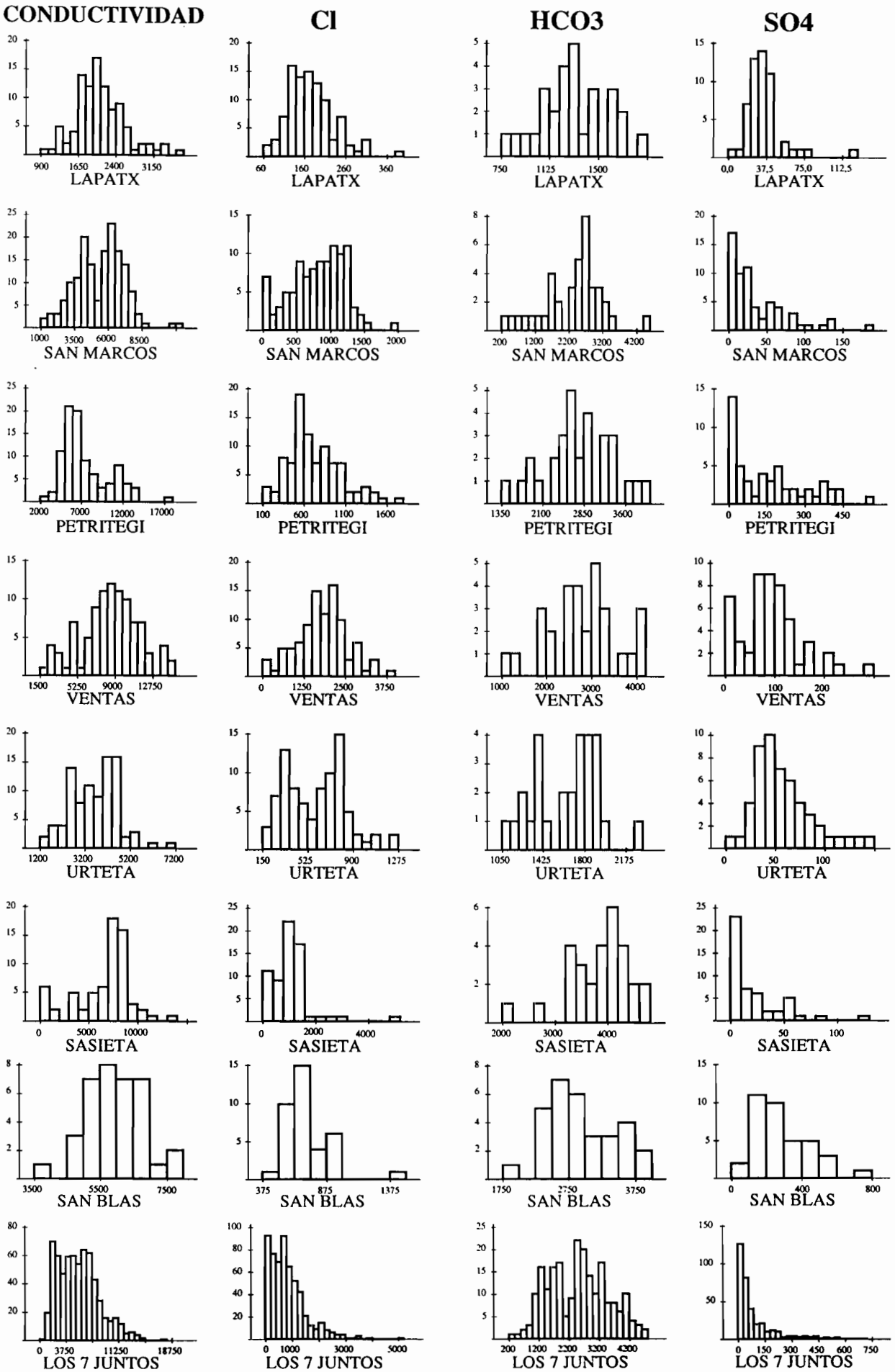
Anexo 6.5.5. Matriz de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson). Considerando la información de los 7 vertederos de Gipuzkoa.



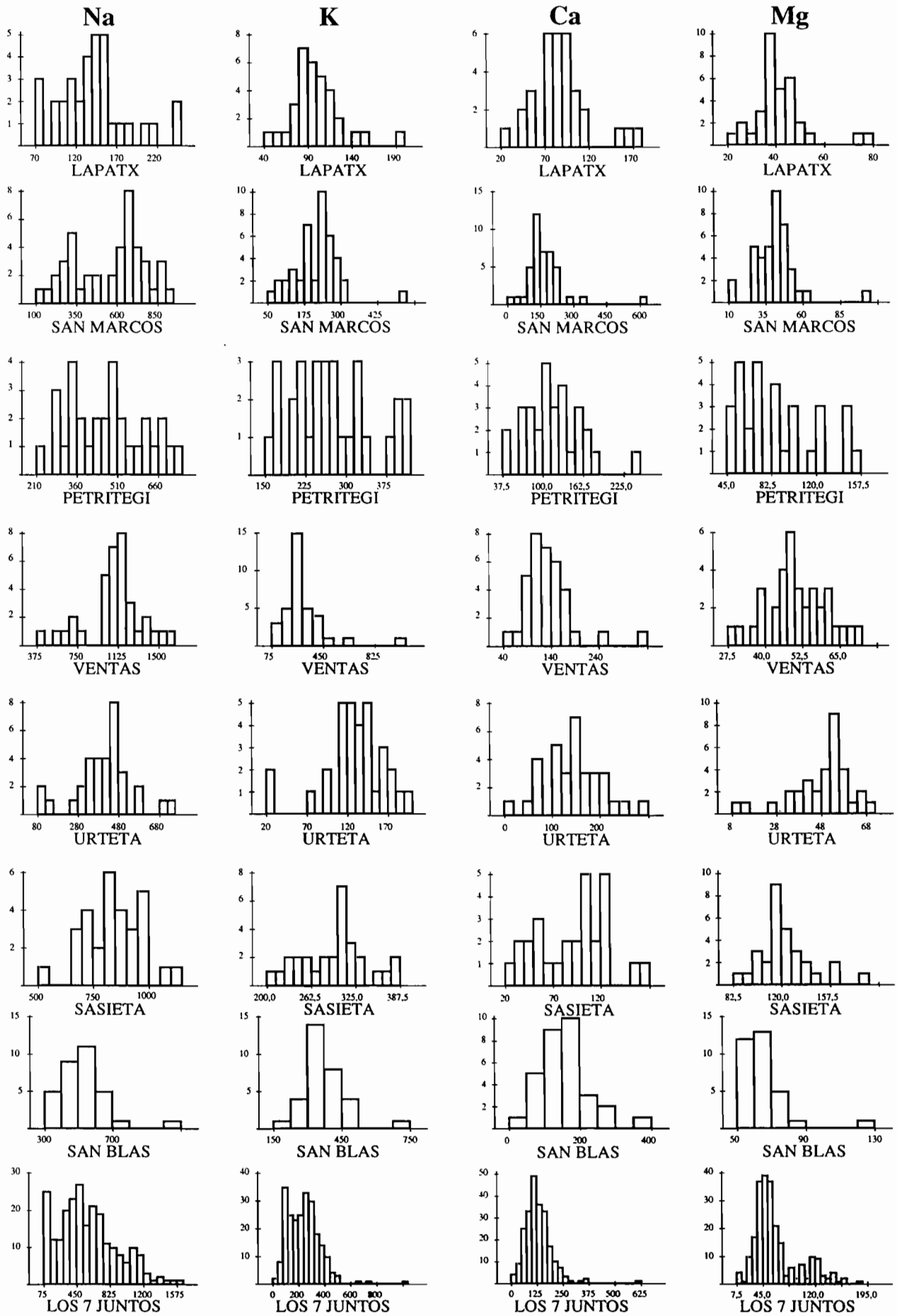
Anexo 6.6. Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas



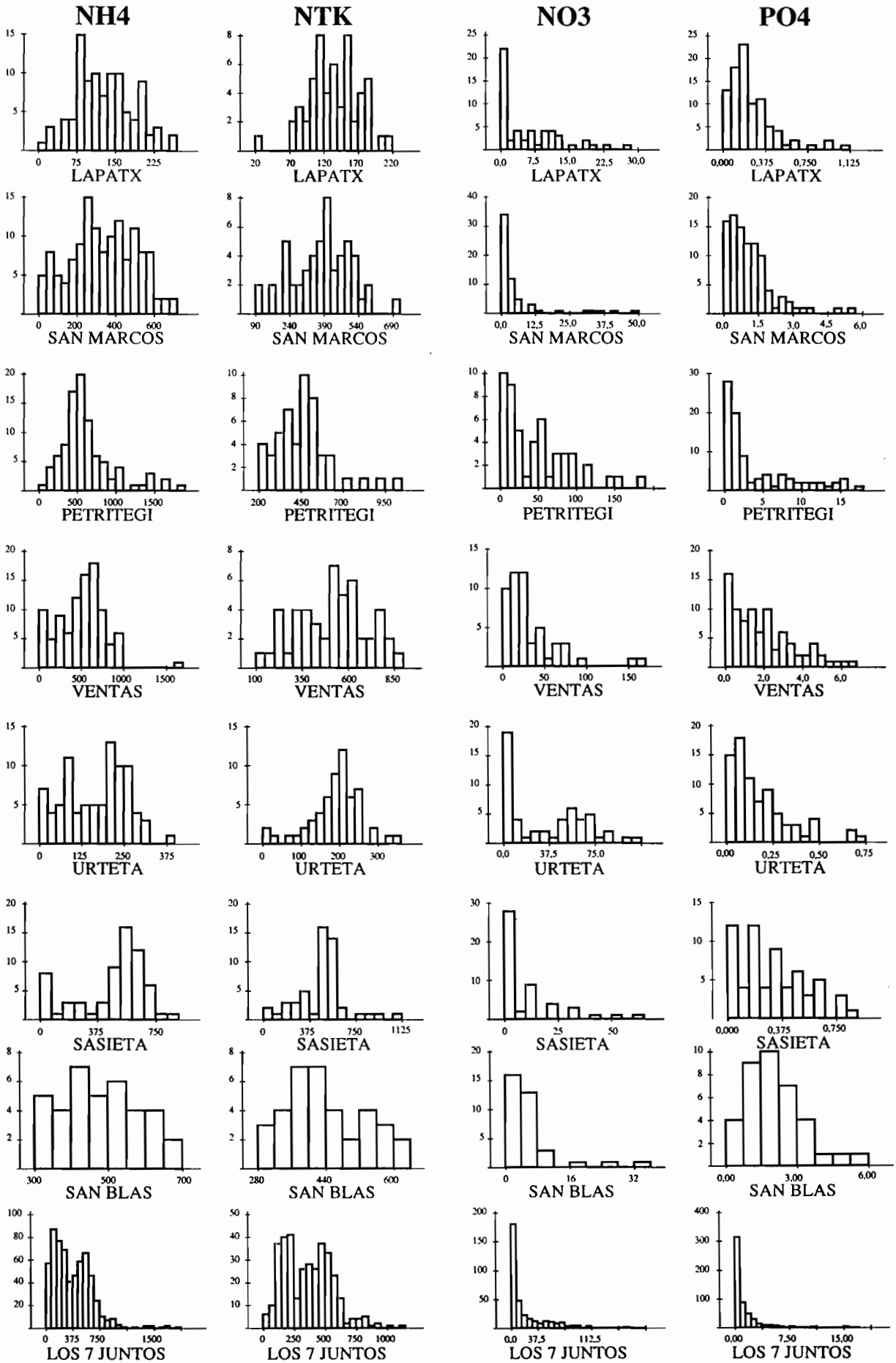
Anexo 6.6. (continuación). Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas



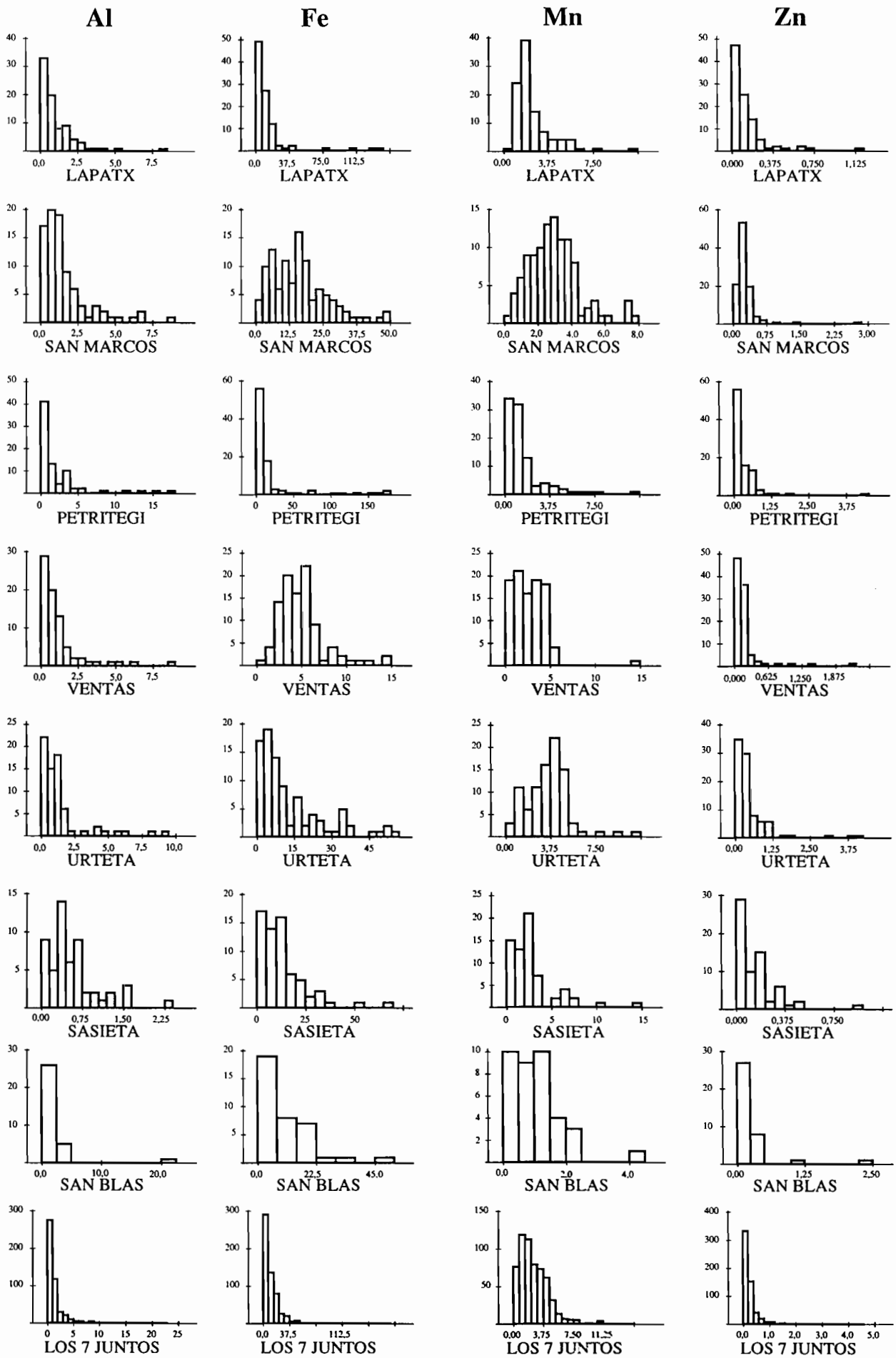
Anexo 6.6. (continuación). Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas.



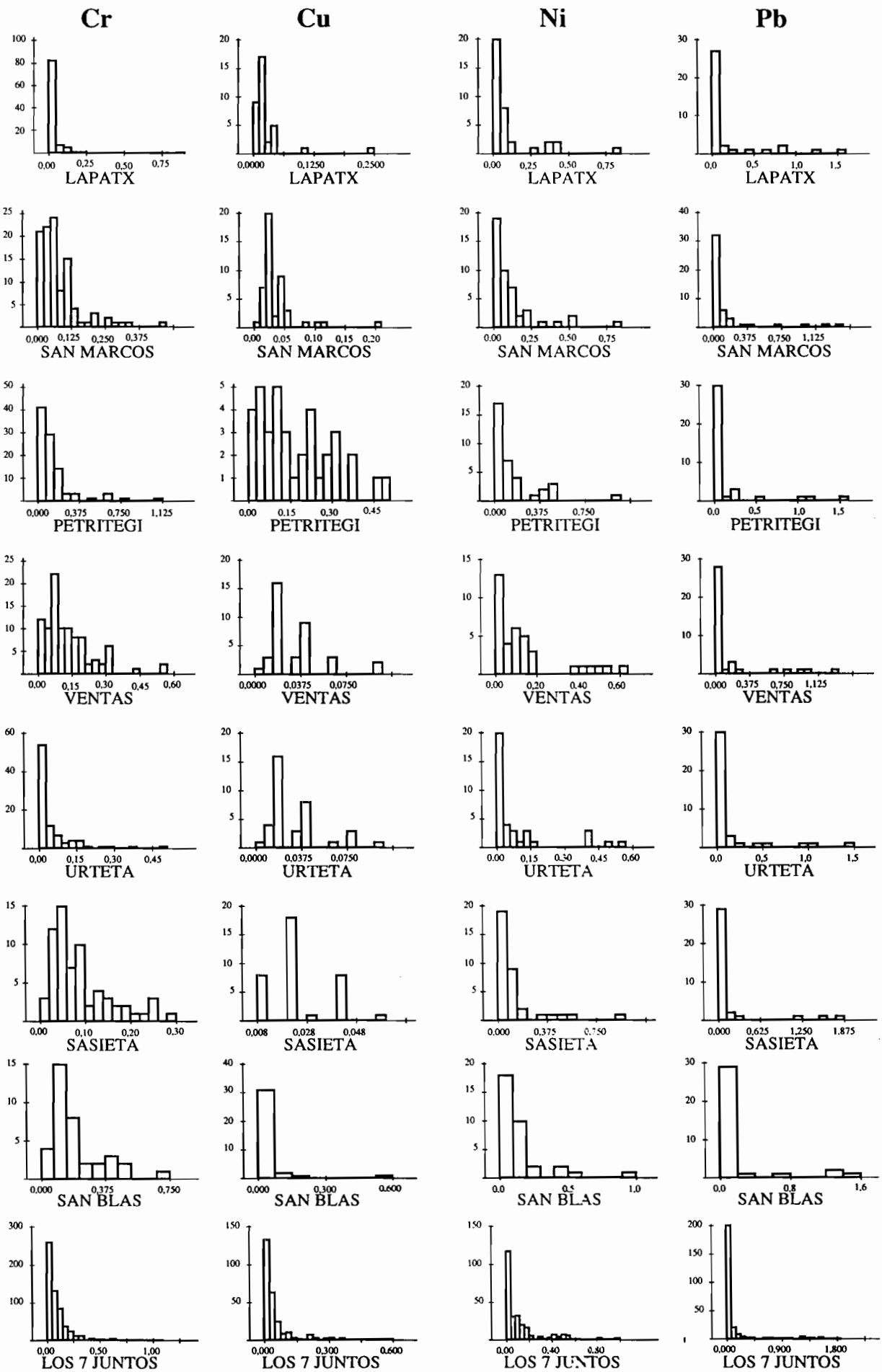
Anexo 6.6. (continuación). Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas



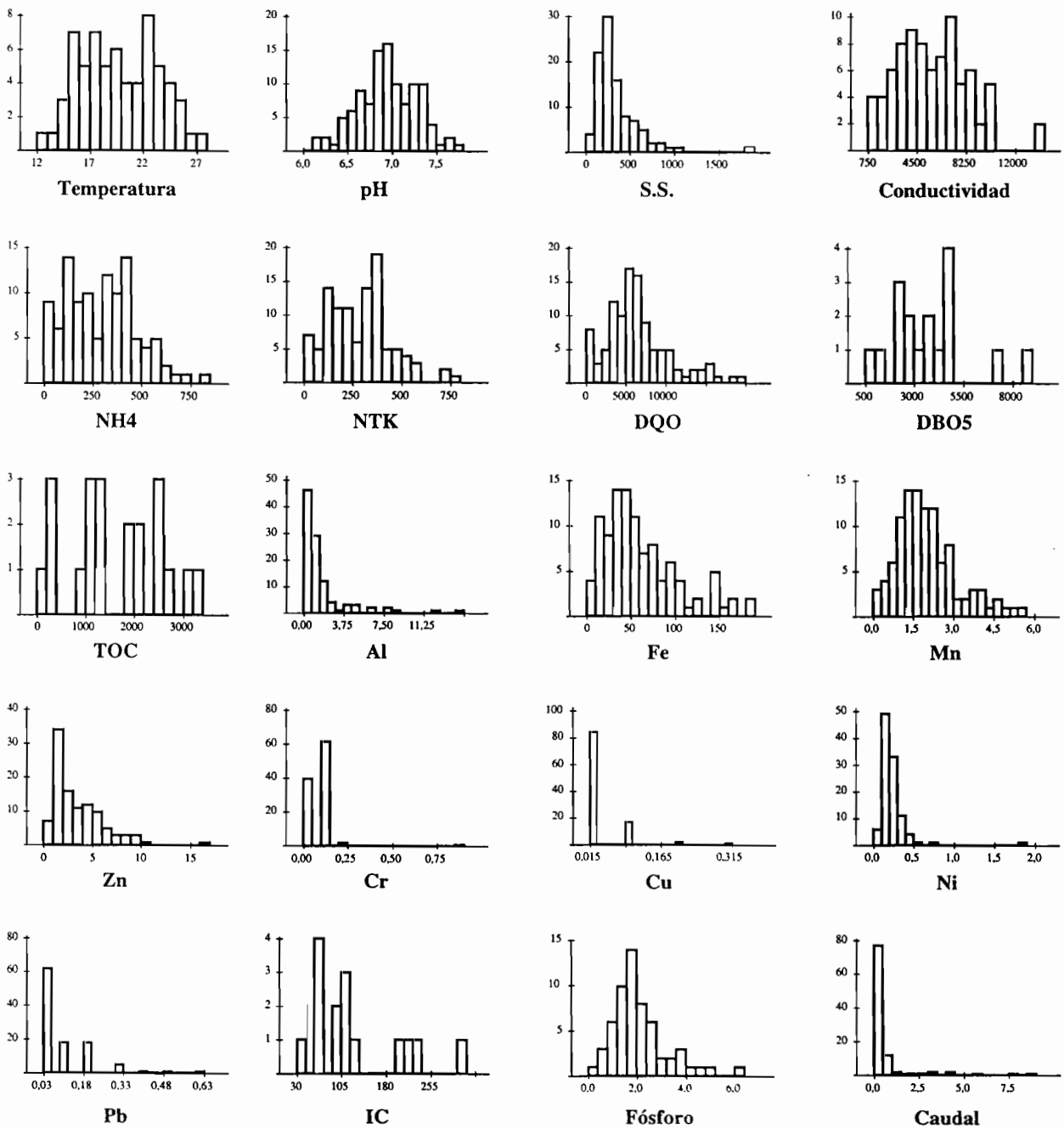
Anexo 6.6. (continuación). Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas



Anexo 6.6. (continuación). Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas.



Anexo 6.6. (continuación). Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas.



Anexo 6.6. (continuación). Histogramas de frecuencia para las principales variables analizadas. Vertedero de Góngora.