



ASPECTOS GEOTÉCNICOS DE LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



César Sagaseta, Pablo Lapeña y Jorge Cañizal

Grupo de Geotecnia
Universidad de Cantabria



Proyectos de Investigación relacionados

- Aspectos geotécnicos del diseño y operación de vertederos de RSU
Gobierno de Cantabria 1988-95 Tesis J. Palma (1995)
- Monitorización de vertederos (Meruelo I, II y III, El Mazo, Larrabechu)
MARE, contratistas 1993- Tesis J.A. Barco (en prep.)
- Resistencia al corte de geosintéticos e interfaces para vertederos de RSU
CESPA GR 2004-09 Tesis B. Martinez-Bacas (2009)
- Caracterización geotécnica de RSU en vertederos
CESPA GR 2012-13 Tesis: P. Lapeña (en prep.)
- Propiedades mecánicas de RSU
PN I+D+i (BIA2012-34956) 2013-15 Tesis: P. Lapeña (en prep.)
- Colaboraciones:
 - J.M. Sánchez Alciturri (- 2002)
 - Univ. Católica de Valparaíso (Chile) (Profs. Szanto, Espinace, Palma)
 - University of Freiberg (Germany) (Prof. Konietzky)

- 
- Excesiva pendiente
(entre 1H:1V y 1H:2V)
 - Insuficiente control del drenaje
 - Lixiviado
 - Gas

Vertedero de Payatas (Filipinas)
Deslizamiento año 2000
(300 muertos)

- **Sobre los RSU con MBT**
- **Parámetros resistentes de los RSU**
 - Ensayos laboratorio
 - Ensayos in situ
 - Análisis de roturas
 - Interfaces. Geosintéticos

Vertedero Meruelo II (Cantabria)

Plataforma superior (compactación, cobertura, drenaje)

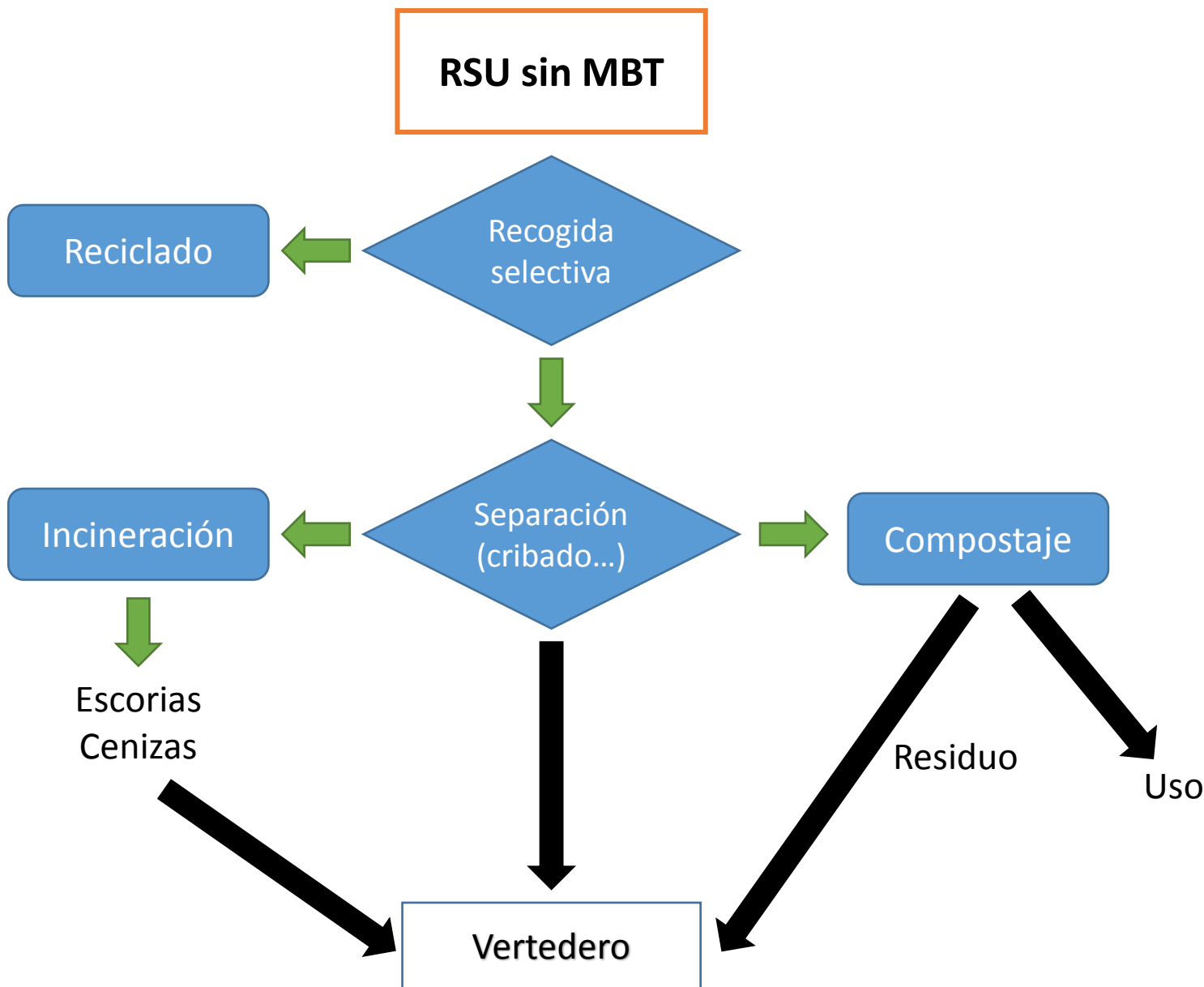
Estado en 2004

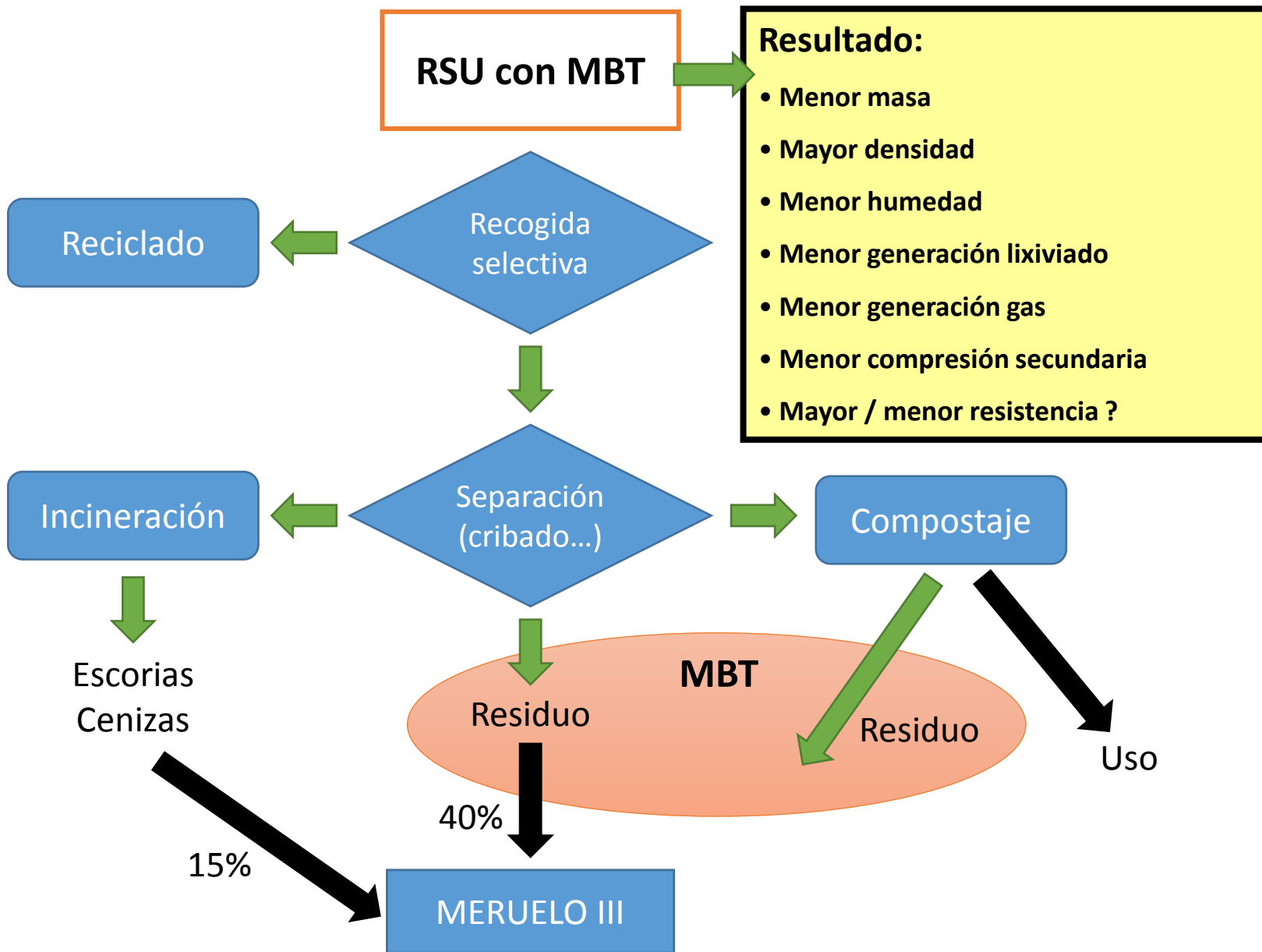


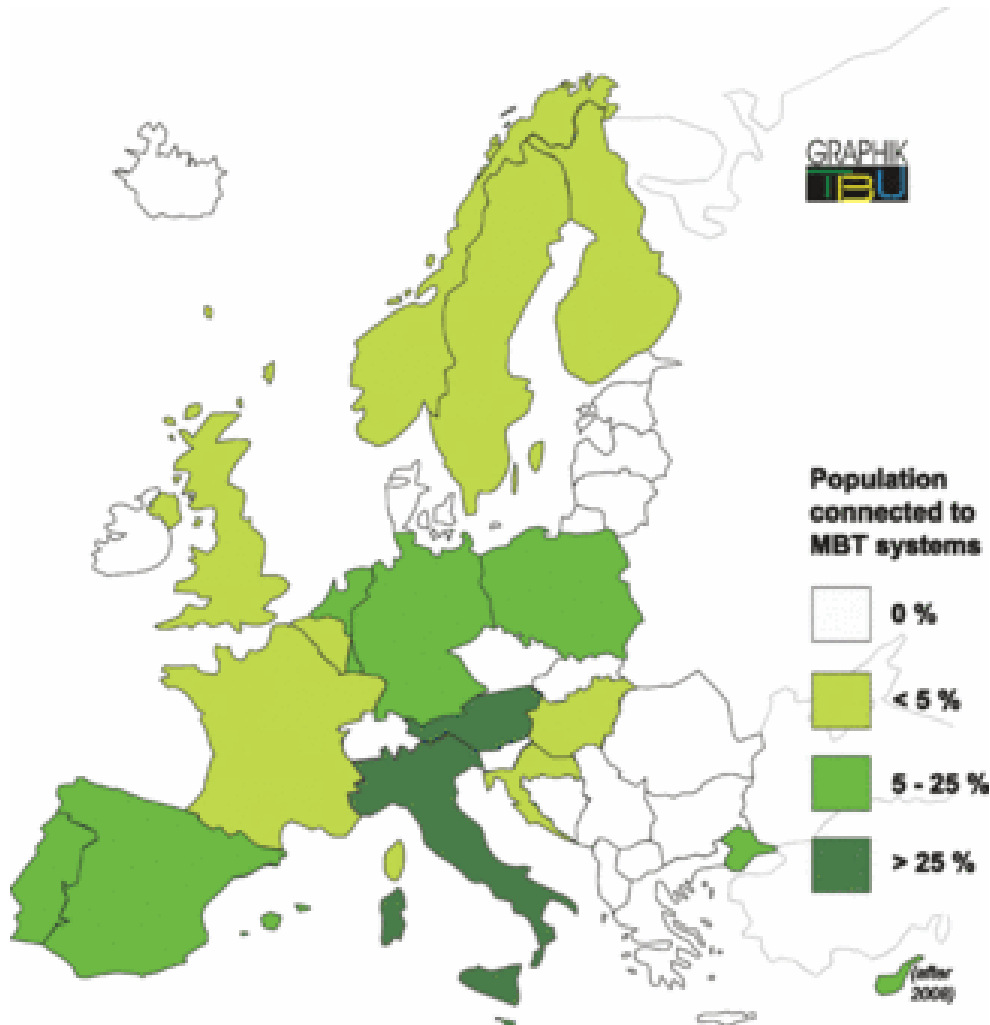
Actualmente (Meruelo III):

Sellado impermeable sintético

Depositando encima (5-10 m) RSU con MBT







Porcentaje estimado de usuarios de MBT en Europa.
Fuente: TBU Environmental Engineering Consultants

R.S.U. Convencionales – Ensayos de laboratorio

- Ensayos de laboratorio:
 - Corte directo, triaxial, corte simple
 - Dificultades para obtener buenas muestras
 - Grandes partículas (fibras,...)
 - Problemas ambientales (olor,...)



Ensayo triaxial

(Zekkos et al., 2008)



Corte directo

(Martinez-Bacas, 2009)

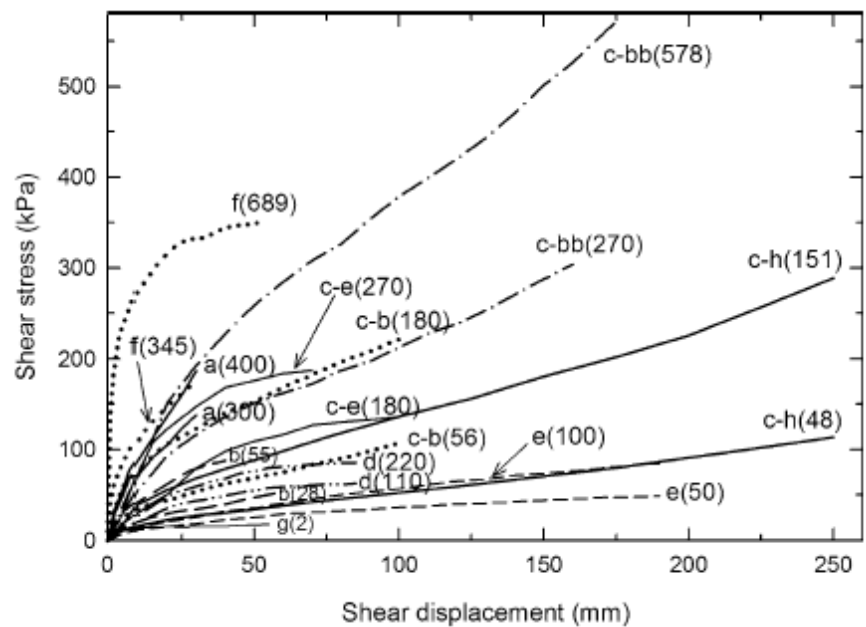


Corte directo
con control de succión

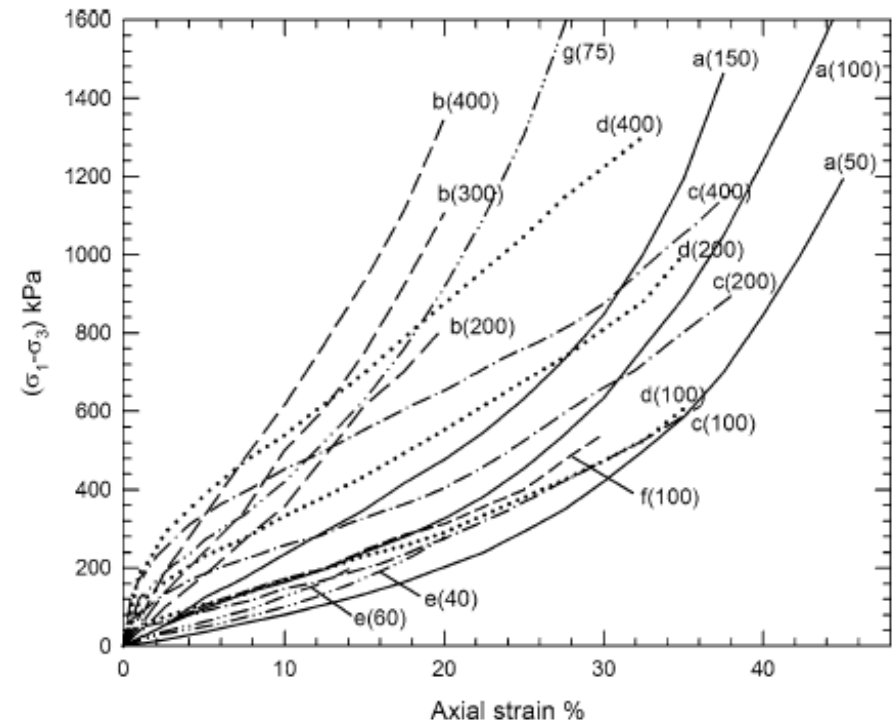
(Asanza, 2009)

Curvas tensión-deformación típicas

Ensayos de corte directo



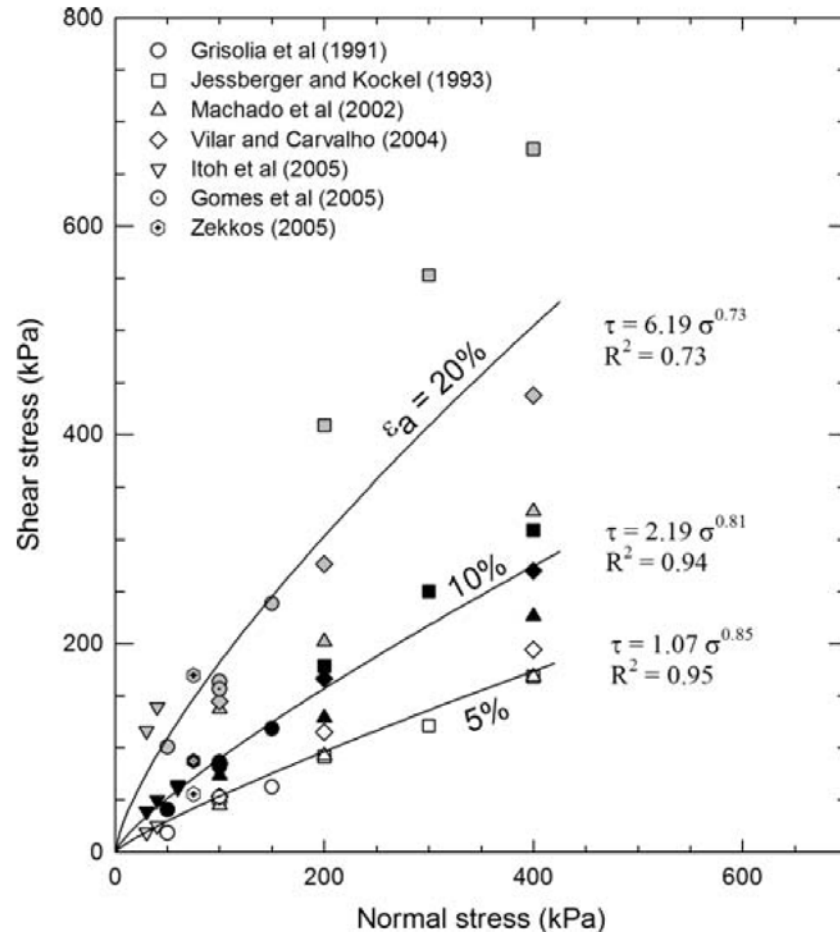
Ensayos triaxiales



Resultados compilados por Stark et al. (2009)

Definición de rotura ??? ➡ Usualmente $\epsilon = 5 - 20\%$

Envolvente de resistencia



Resultados de triaxiales compilados por Stark et al. (2009)

- Ajuste lineal. c, ϕ equivalentes
- ϕ decrece, c crece con σ
 - Ajustes bi- tri- o no-lineales
 - Con fibras, rango puramente “cohesivo” para baja σ (<30-50 kPa)
- Influencia de la edad (degradación)?
 - En resistencia?
 - En c, ϕ ?

R.S.U. Convencionales – Sondeos



R.S.U. Convencionales – Ensayos in situ

Presiómetros

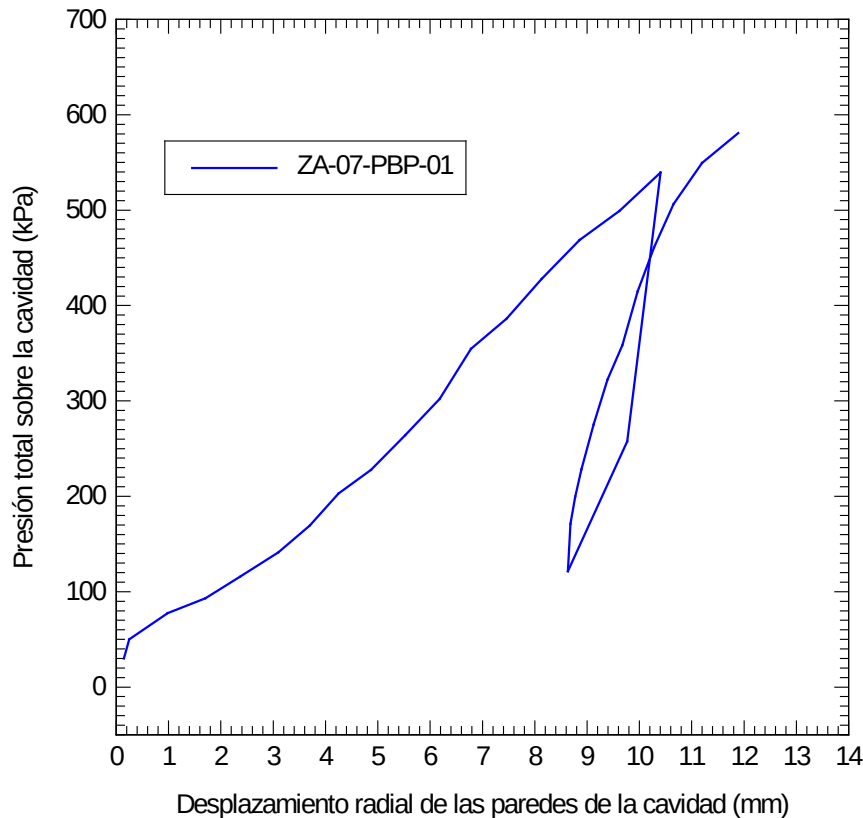


Penetrómetros (CPT - CPTu)

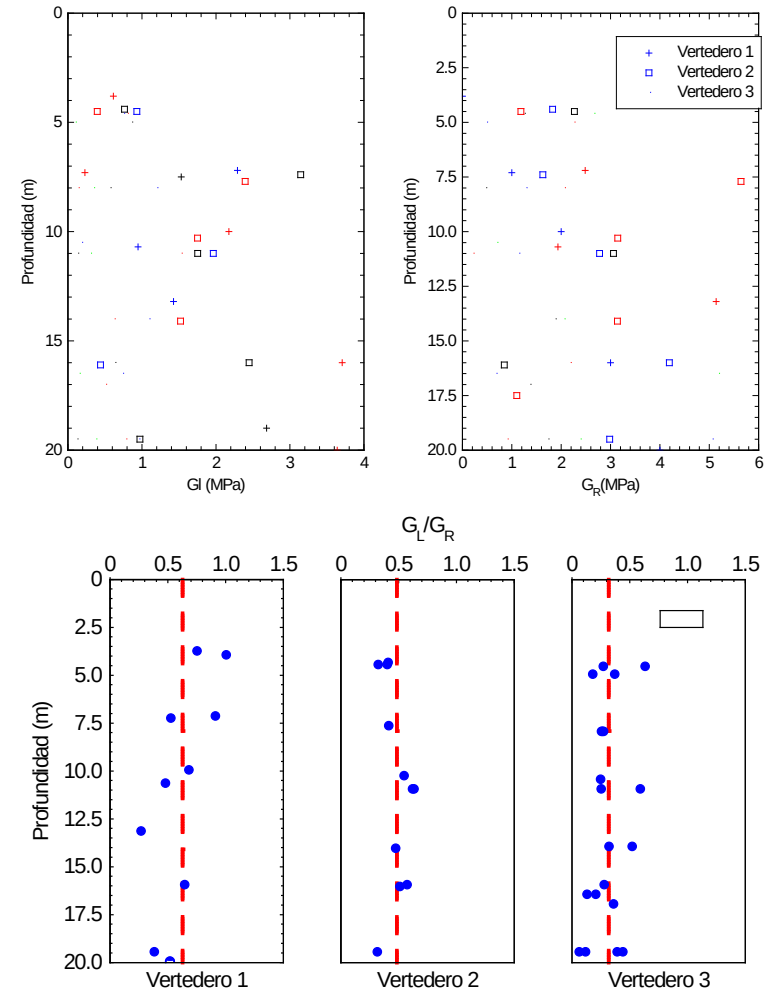


R.S.U. Convencionales – Ensayos in situ - Presiómetro

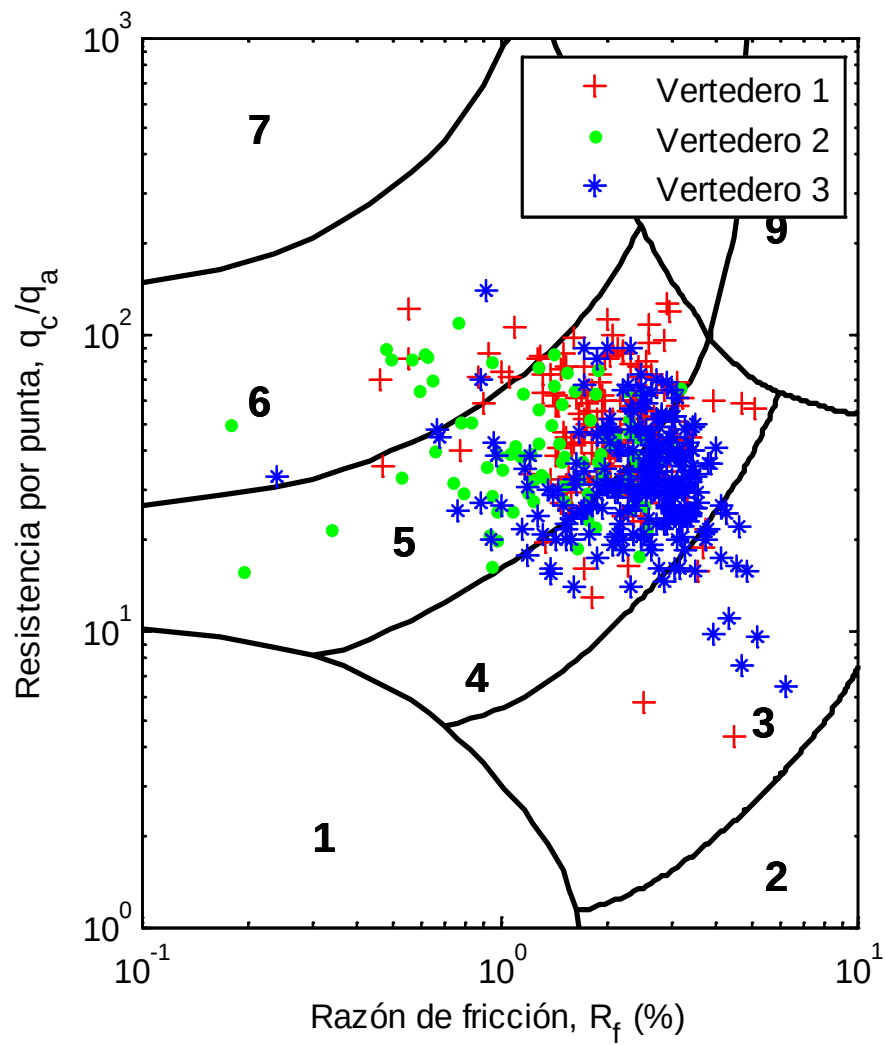
Curva presiométrica



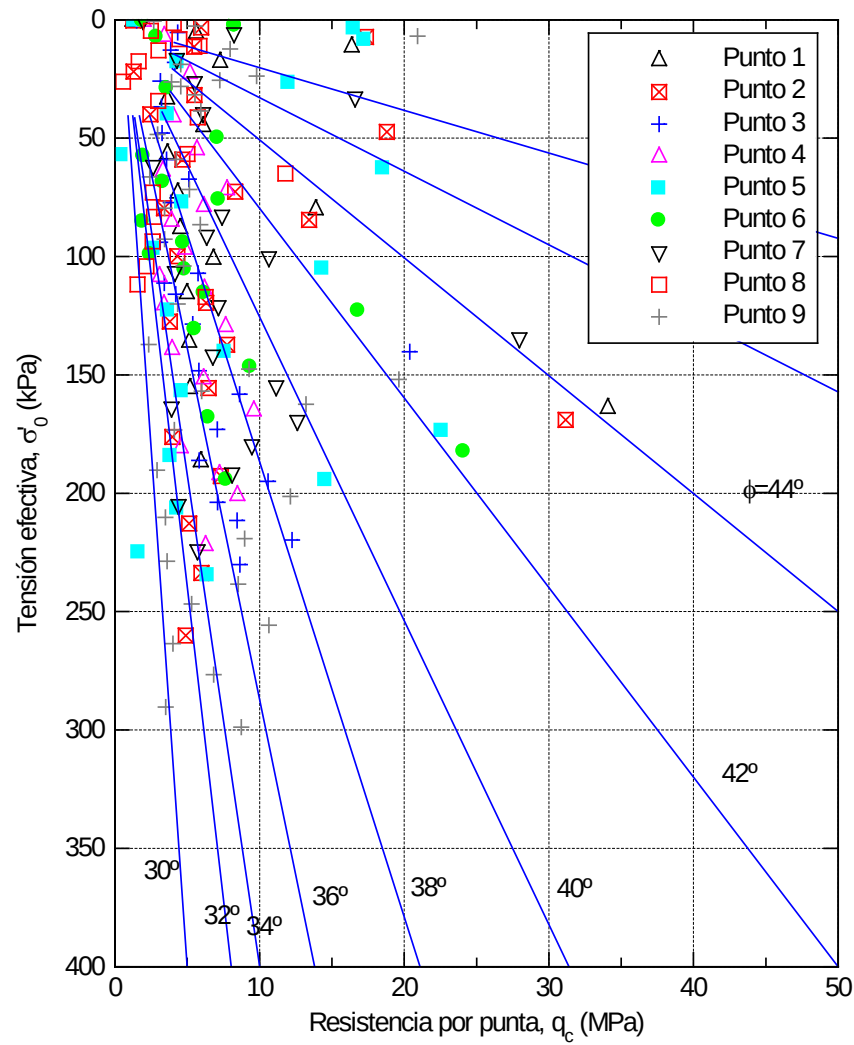
Módulos de corte



Identificación del tipo de comportamiento

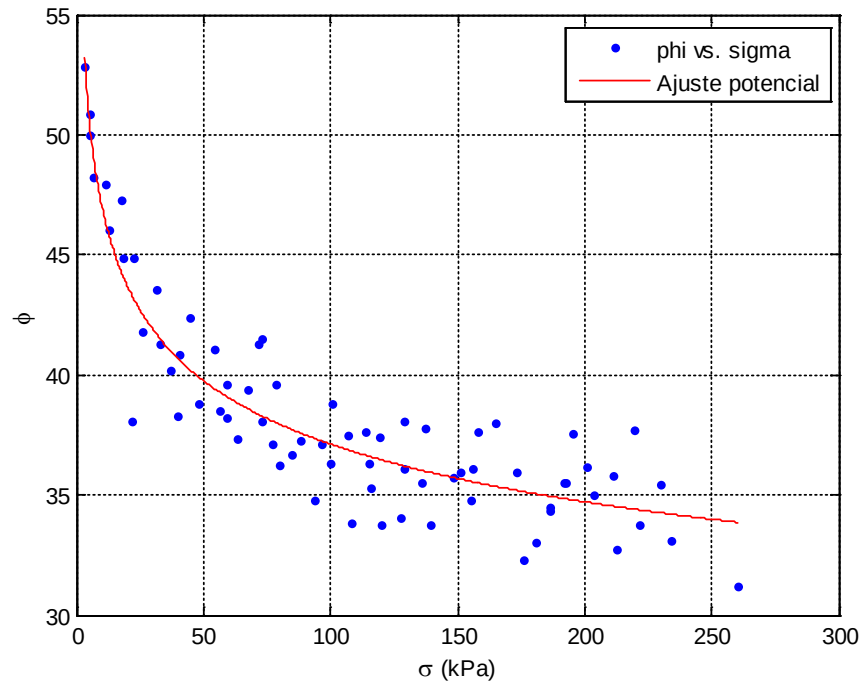


Parámetros resistentes

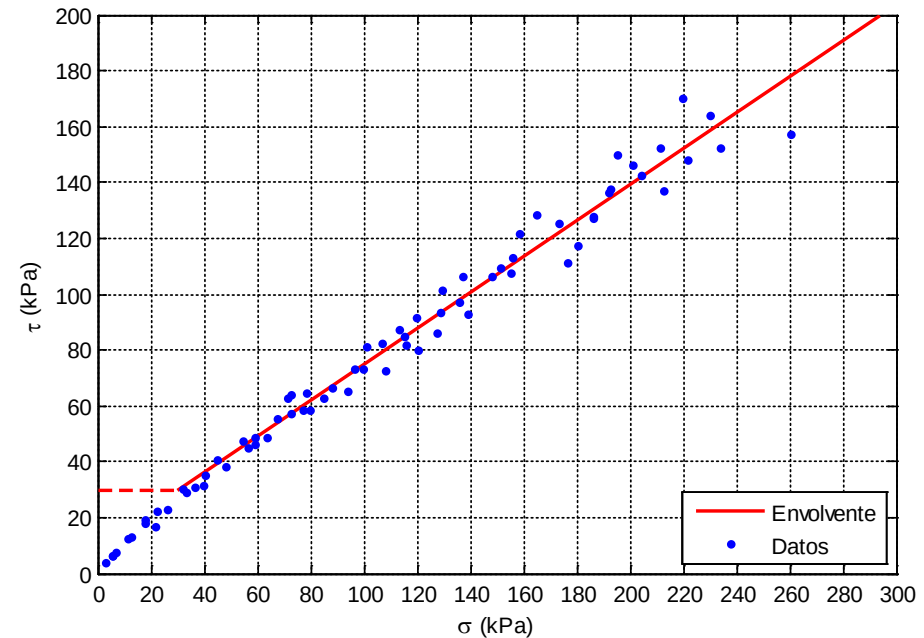


R.S.U. Convencionales – Ensayos in situ – Parámetros

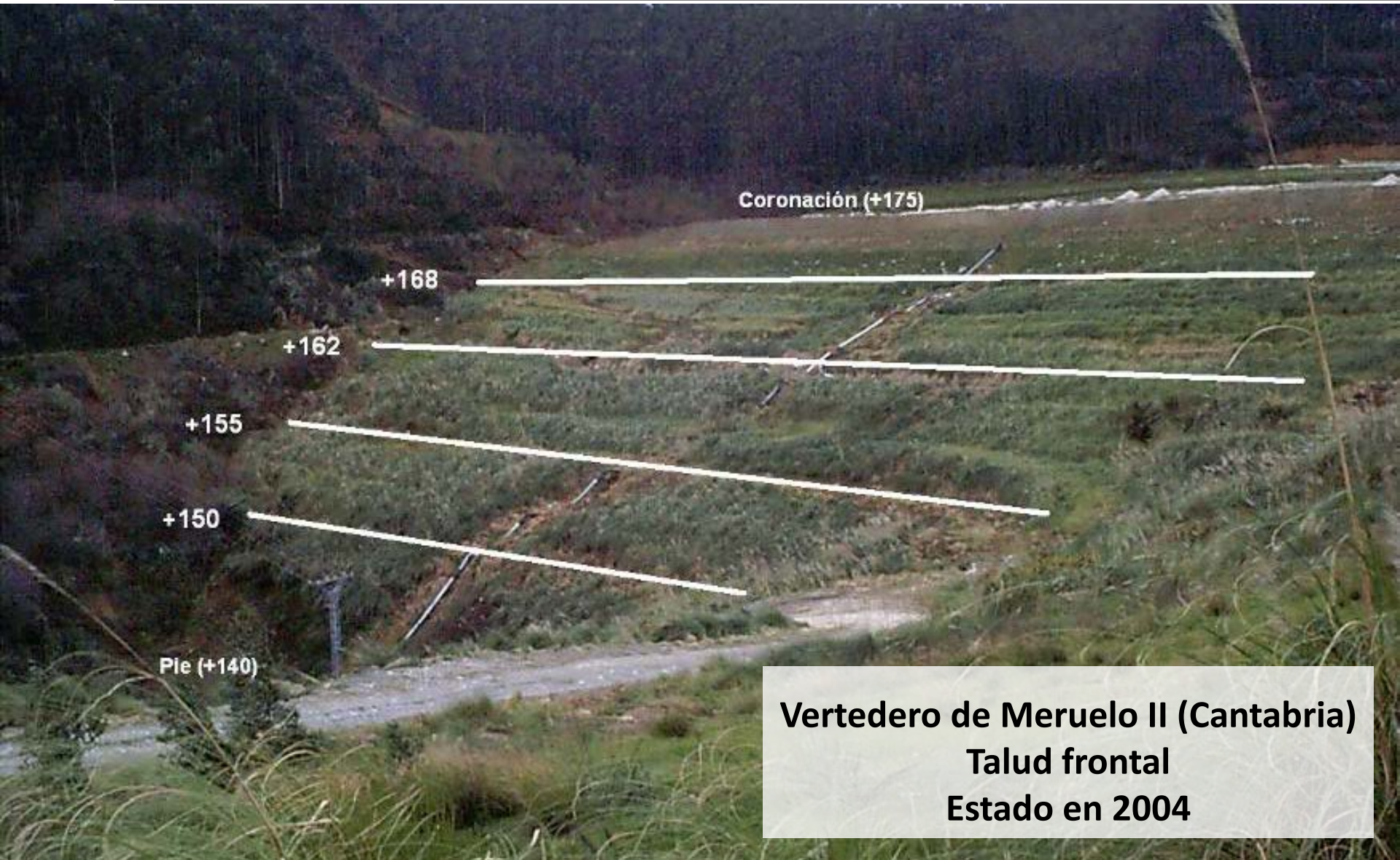
Evolución de ϕ con la profundidad



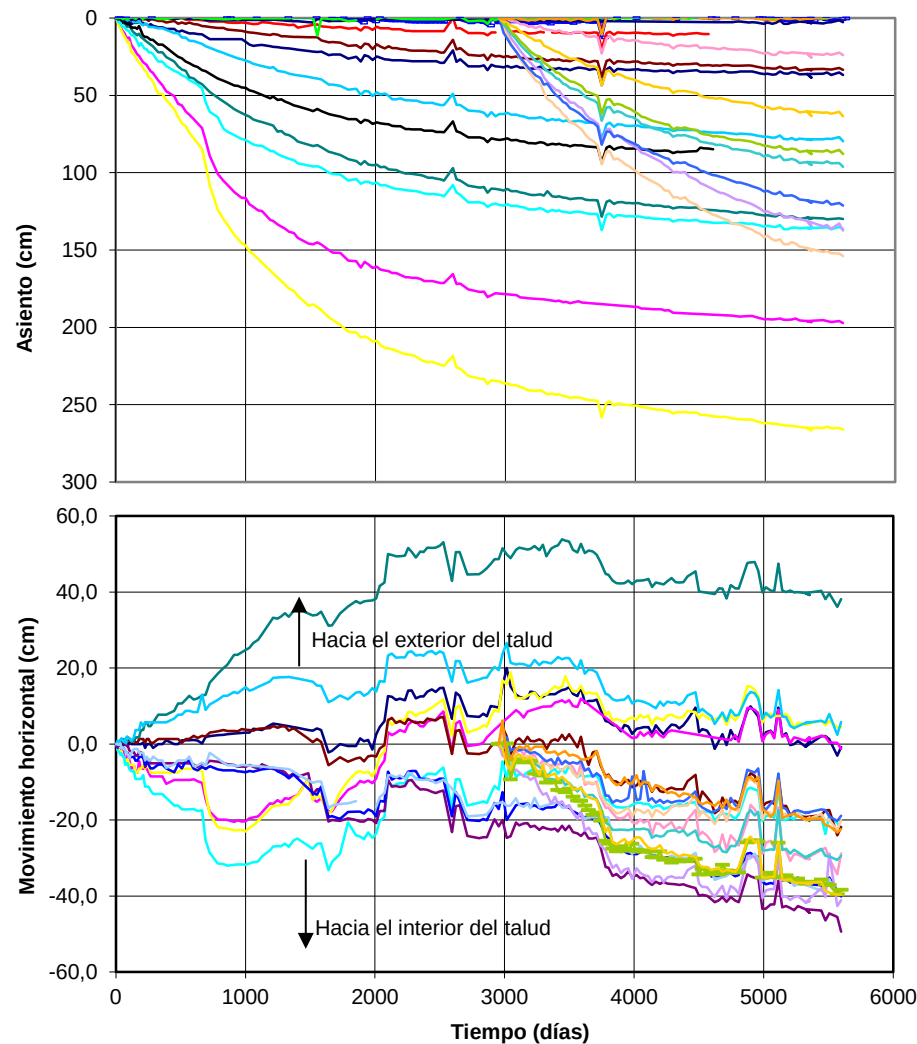
Ajuste de Mohr-Coulomb



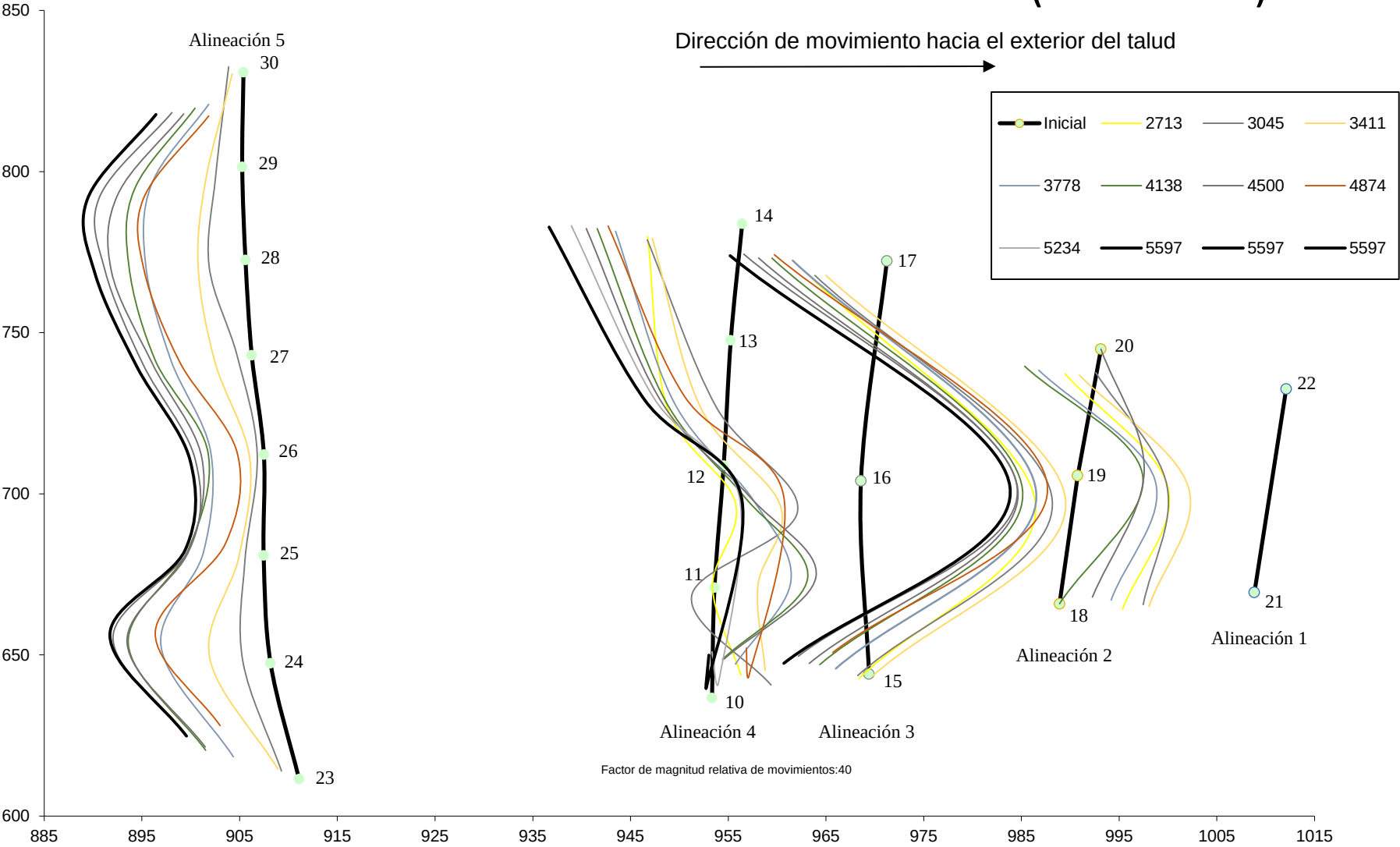
R.S.U. Convencionales – Control de movimientos



Control de movimientos en taludes estables (Meruelo II)

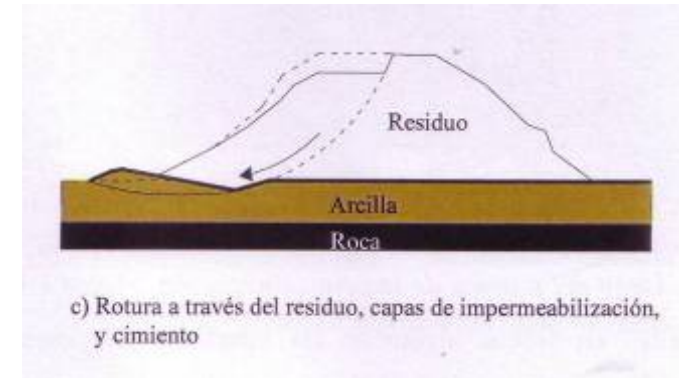


Control de movimientos en taludes estables (Meruelo II)

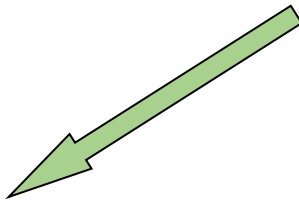


R.S.U. Convencionales – Análisis inverso (back-analysis)

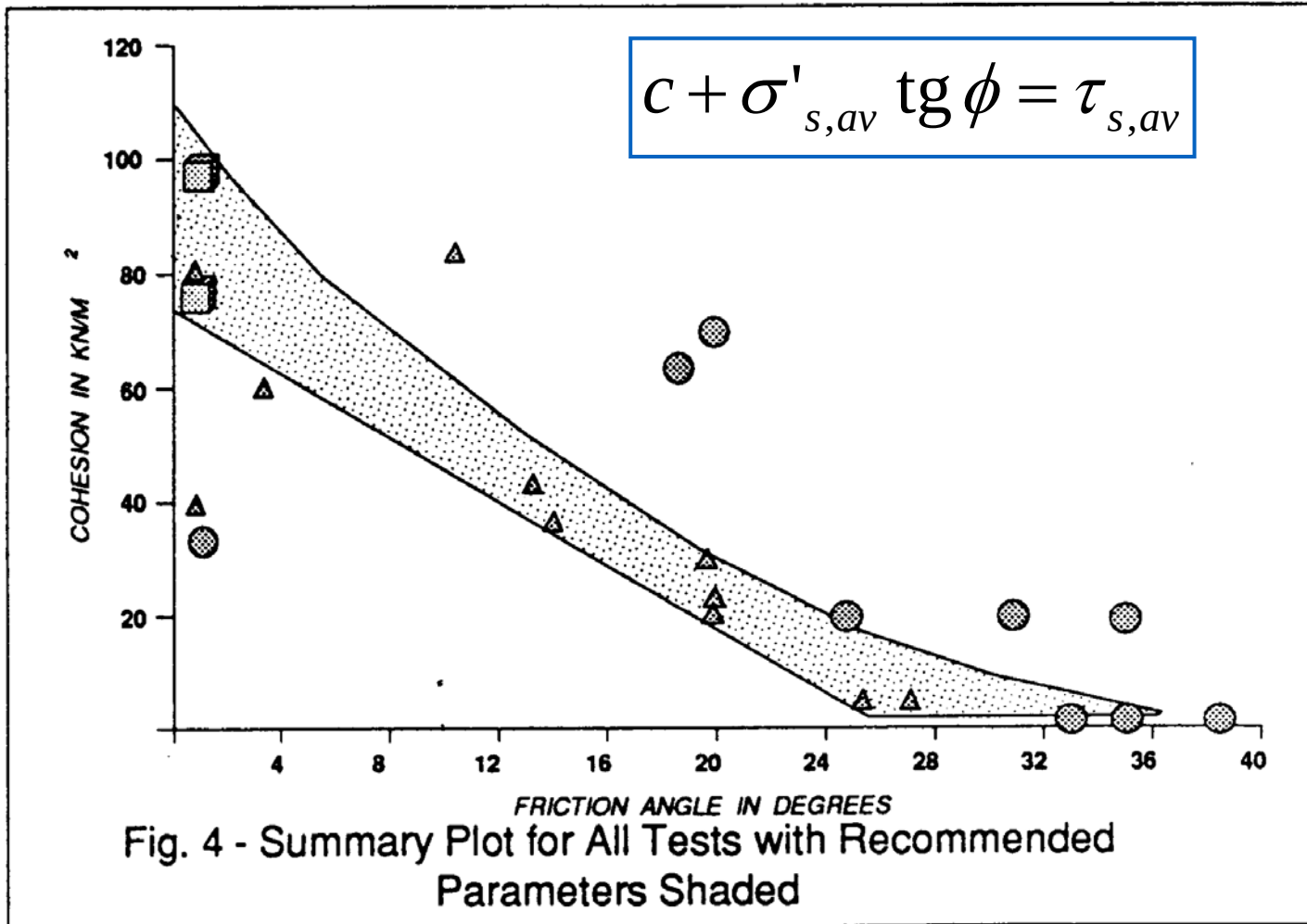
- Espontáneas o inducidas (ensayo)
- Alcanzado estado límite o no (suponer $F \geq 1$)
- Como máximo, obtener relación entre c y ϕ



$$F_d = \frac{T_{max}}{T_s} = \frac{\int (c + \sigma'_s \tan \phi) dl}{\int \tau_s dl} = \frac{c + \sigma'_{s,av} \tan \phi}{\tau_{s,av}} = 1.0$$

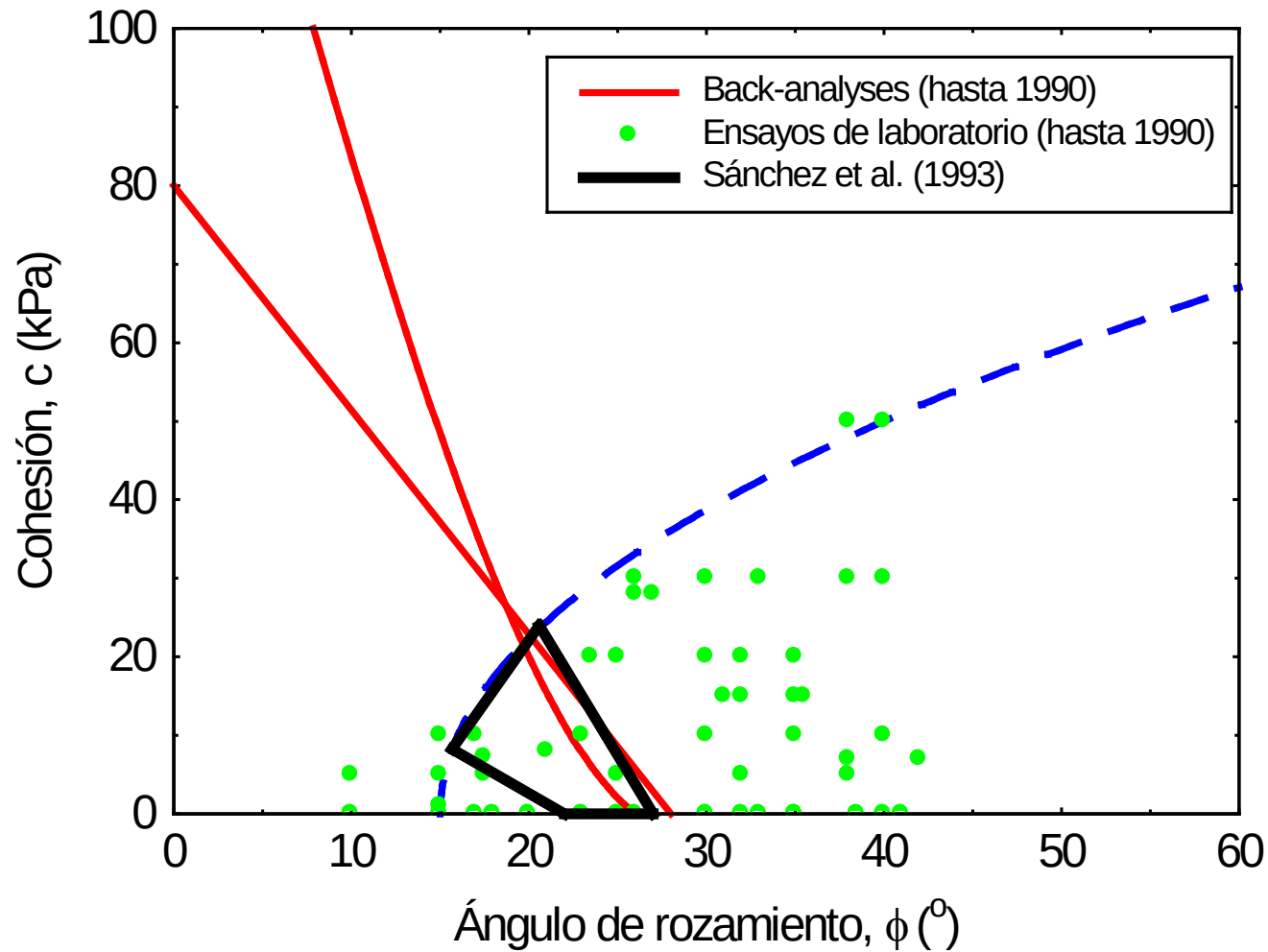

$$c + \sigma'_{s,av} \operatorname{tg} \phi = \tau_{s,av}$$

R.S.U. Convencionales – Parámetros recomendados



Singh y Murphy (1990)

R.S.U. Convencionales – Parámetros recomendados



Sánchez-Alciturri et al. (1993)

1993 -2009: nuevos análisis de roturas

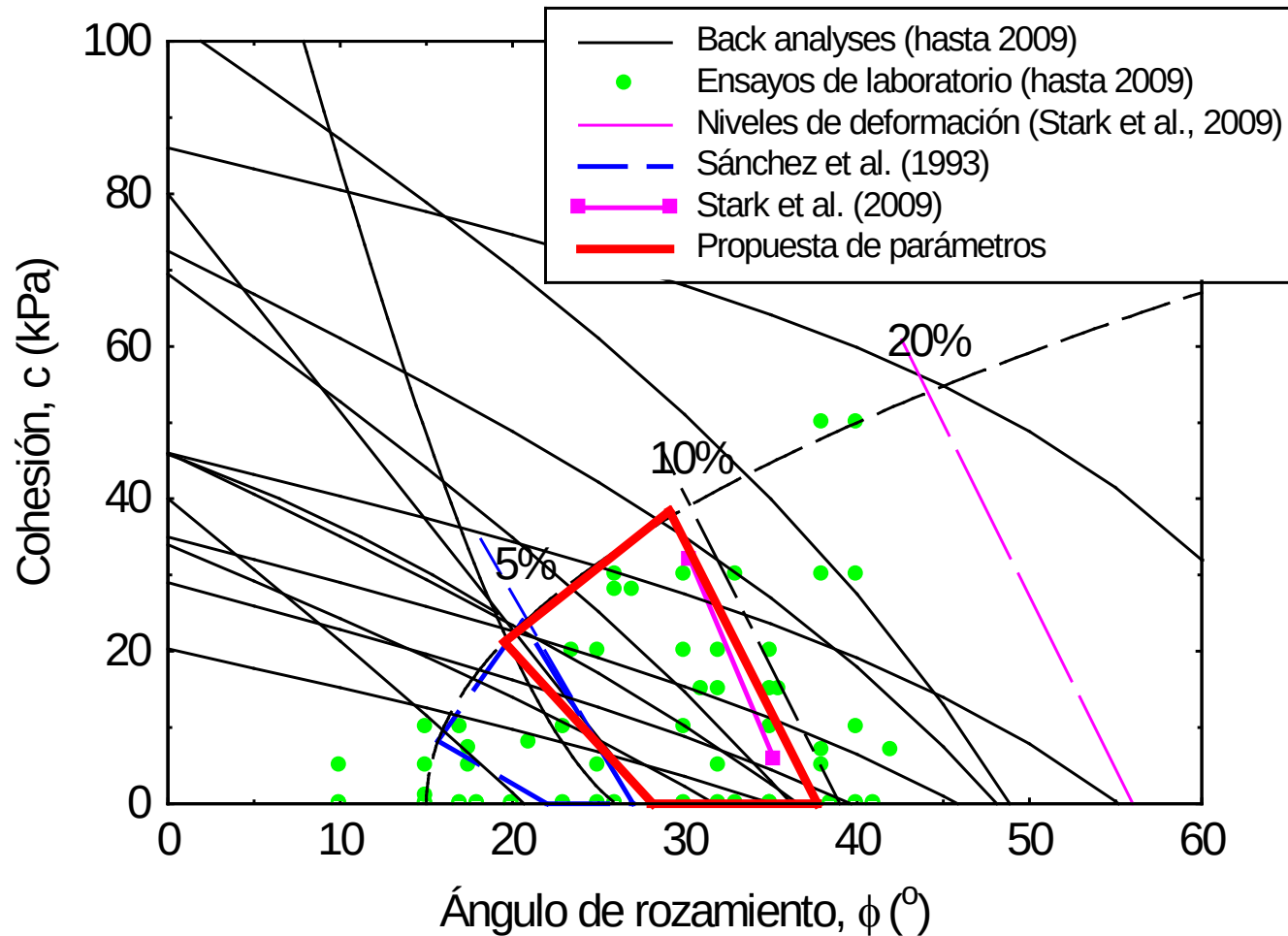
Table 2 Summary of MSW landfill case histories used to back-calculate MSW shear strength

Label in Figs. 5 and 6	Reference	Maximum landfill height (m)	Average effective stress along failure surface in waste (kPa)	Average leachate level in terms of Pore Pressure ratio ^a	Back-calculated shear stress (kPa)
NJ	New Jersey site (Oweis and Khera 1998); Dvinoff and Munion 1986)	23	62	0.065	46
M	Maine site (Richardson and Reynolds 1991)	27	34	0.045	35
C	Cincinnati site (Eid et al. 2000)	84	90	0.078	103
EO	Eastern Ohio site (Stark et al. 1998)	24.5	35	0.021	29
W	Warsaw site, Poland (Bouzza and Wojnarowicz 2000)	26	106	0.44	40
DJ	Dona Juana, Columbia (Hendron et al. 1999, Gonzalez-Garcia and Espinoza-Silva 2003; Fernandez et al. 2005; Hendron 2006)	60	55	0.15–0.80	34
P	Payatas, Phillipines (Merry et al. 2005)	33	95	0.43	69.5
H	Hiriya landfill, Israel (Isenberg 2003)	60	32	0.65	46
IS	Istanbul landfill, Turkey (Kocasoy and Curi 1995)	45	65	0.50	72.5
BR	Cruz das Almas Landfill, Brazil (Gharabaghi et. al 2006)	40	28.9	0.30	20.3
IN	Leuwigajah dumpsite, Indonesia (Koelsch 2005)	70	31.2	0.21	86

^a Pore pressure ratio, $r_u = u/\gamma h$

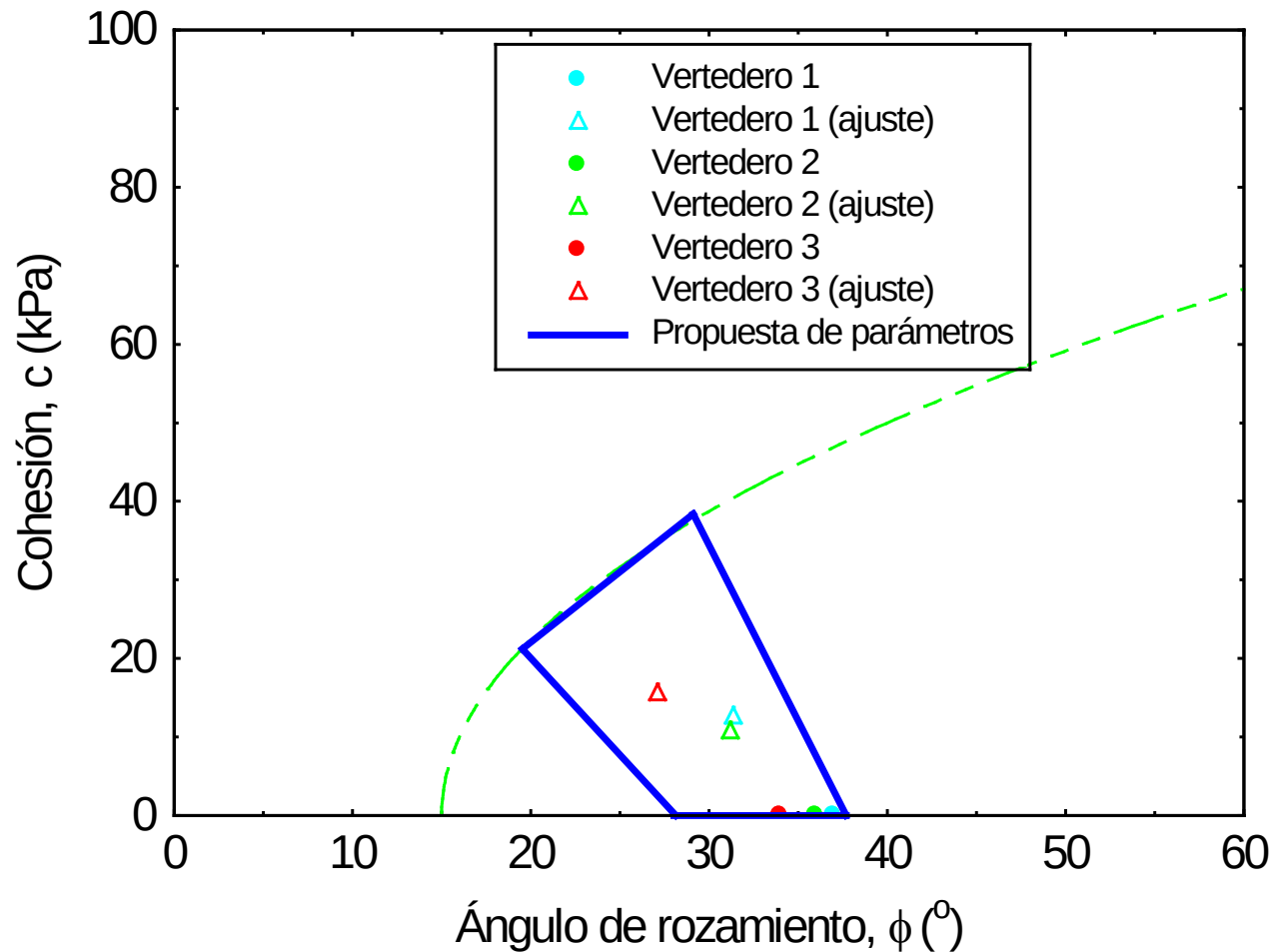
Compilación por Stark et al. (2009)

R.S.U. Convencionales – Parámetros recomendados

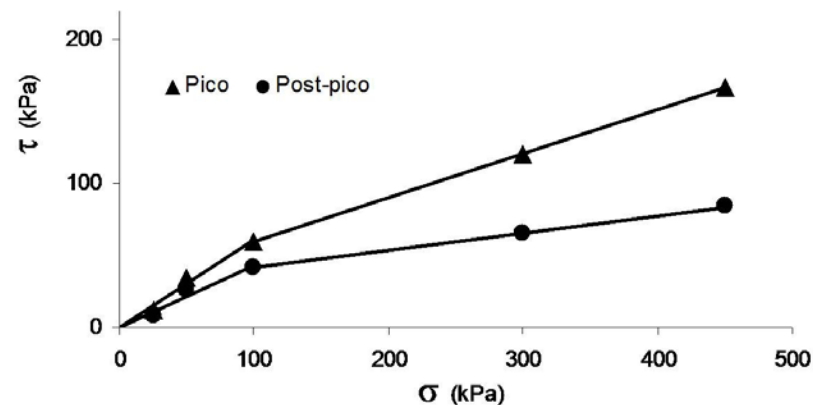
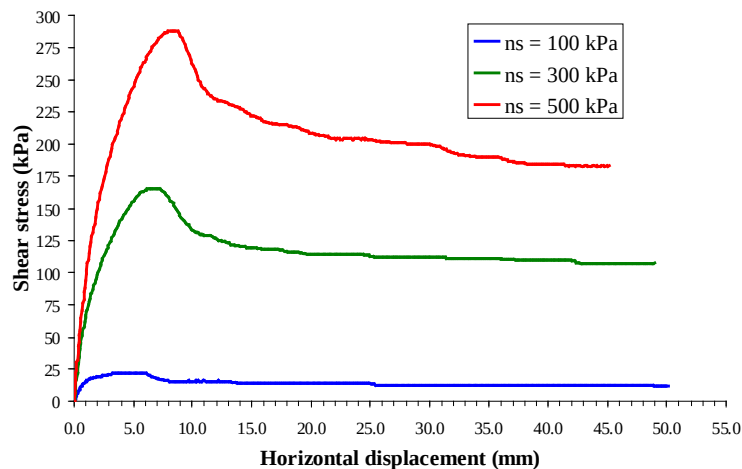


Cañizal et al. (2013)

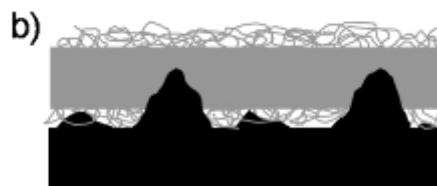
R.S.U. Convencionales – Parámetros obtenidos



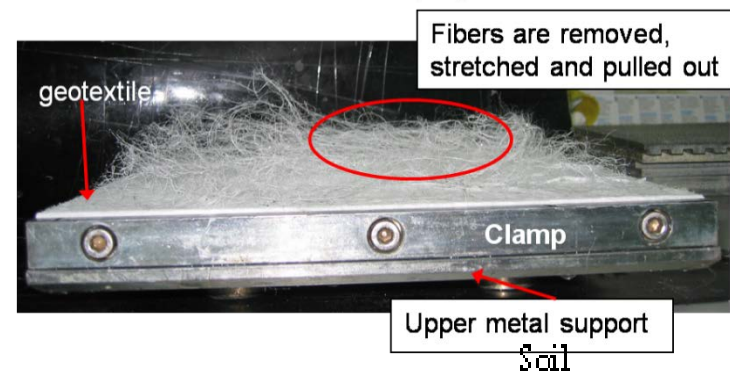
Interfaces R.S.U.-geosintéticos



Low normal stress

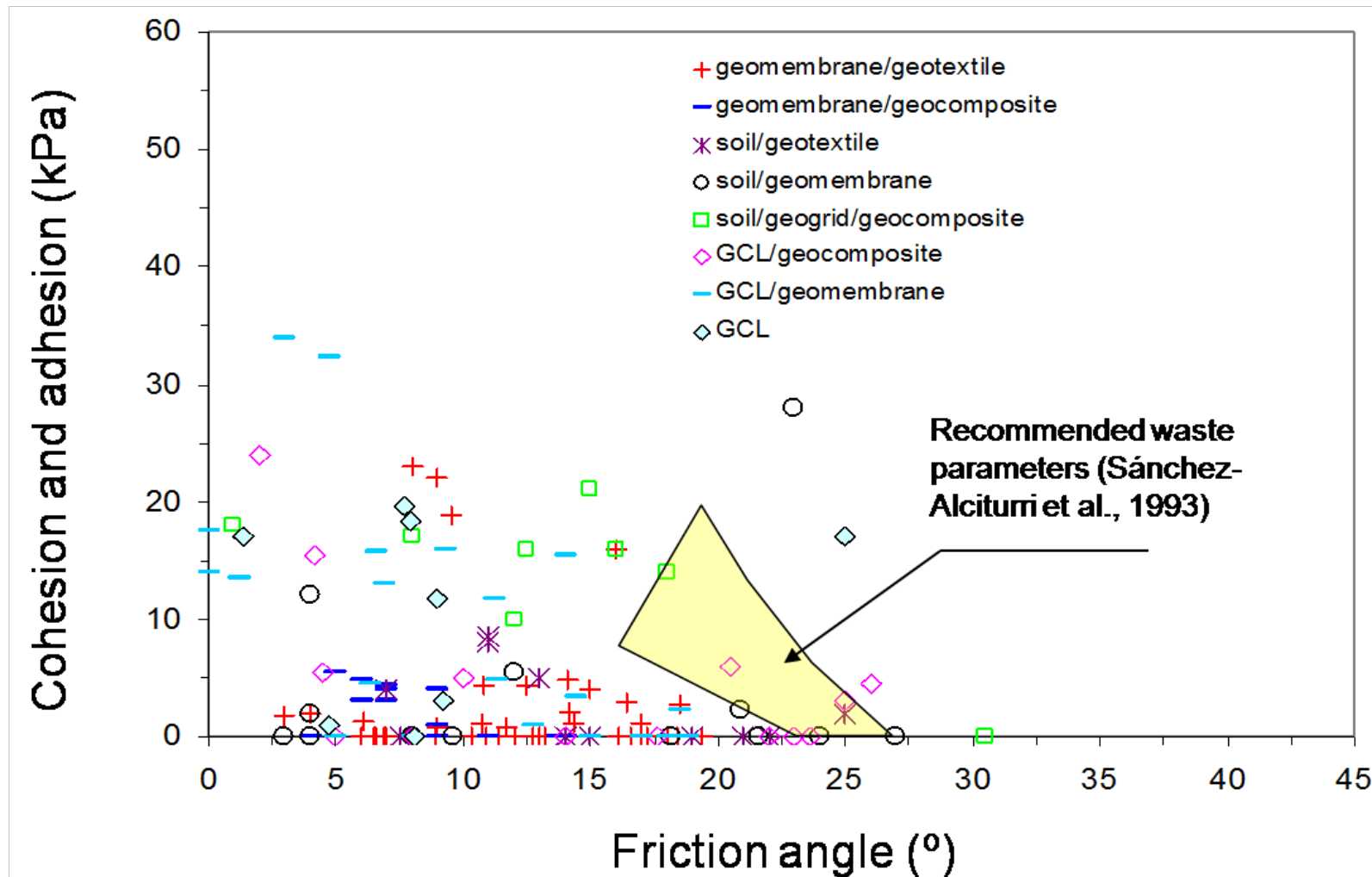


High normal stress



Martinez-Bacas (2009)

Parámetros resistentes. Interfaces



Martínez-Bacas (2009)

Conclusiones

- **RSU convencionales → MBT**
- **Parámetros resistentes de los RSU**
 - Ensayos laboratorio
 - Ensayos in situ
 - Análisis de roturas
 - Interfaces. Geosintéticos

} Recomendaciones c, ϕ
Auscultación
- **Análisis de un caso real**
 - Descripción
 - Análisis de estabilidad
 - Medidas correctoras

} Definición F
Relación F-v



Gracias por su atención

Referencias

- Sánchez-Alciturri, J.M., Palma, J., Sagaseta, C. y Cañizal, J. 1993. Mechanical properties of wastes in a sanitary landfill. *Waste Disposal by Landfill (GREEN-93)*, (R.W. Sarsby, ed.). A.A. Balkema. 357-363.
- Sánchez-Alciturri, J.M., Sagaseta, C. y Barco, J.A. 2003. Corrective measures for slope stabilisation in a sanitary landfill. *13th Eur. Conf. Soil Mech. Geot. Eng.* Praga. 1,229-234.
- Lapeña, P., Cañizal, J., Sagaseta, C., Da Costa, A. y Castro, J. 2013. Estabilidad de taludes de cierre de vertederos de residuos. *VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. CIMNE, UPC. Palma de Mallorca. 1,35-50.
- Cañizal, J., Lapeña, P., Castro, J., da Costa, A. y Sagaseta, C. 2013. Determination of shear strength of MSW. Field tests vs. laboratory tests. *18th Int. Conf. Soil Mech. Geot. Eng.* Paris. 4,3005-3008.
- Lapeña, P., Cañizal, J., Castro, J., da Costa, A., y Sagaseta, C. 2015. Mechanical characterization of MSW using field tests. *15th European Conf. Soil Mech. Geot. Eng. Edimburgo (en revisión)*