

# Características geotécnicas de los suelos en la ciudad de Huelva: parámetros de identificación y ensayos de consolidación

*Geotechnical characteristics of the soils of Huelva town: index properties and consolidation test*

A. Bochs Montoro, M.A. Camacho, E. García-Navarro y F.M. Alonso-Chaves

Departamento de Geodinámica y Paleontología, Avda. de las Ciencias s/n, 21007 Huelva. manuel.camacho@dgeo.uhu.es; navarro@uhu.es; alonso@uhu.es

## ABSTRACT

*This paper shows the preliminary results of a laboratory geotechnical test for the identification and determination of consolidation properties of the soils of Huelva. The fine-grained soils (Arcillas de Gibraleón, Arenas de Huelva and Arenas de Bonares units) have a high consistency. These are over-consolidated soils which have few compressibilities. The Arcillas de Gibraleón Unit presents expansive clay minerals.*

**Key words:** *classification soils, consolidation and oedometer test, geotechnical characteristics, Huelva geology.*

*Geogaceta, 39 (2006), 79-82  
ISSN: 0213683X*

## Introducción

En este trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos en los distintos ensayos de identificación y consolidación de suelos. Éstos serán muy útiles en los proyectos arquitectónicos y de ingeniería civil que, en general, se lleven a cabo en la ciudad de Huelva, donde están previstas grandes obras de infraestructura y una amplia expansión del área urbana de la misma. La investigación ha constado de dos partes, una primera basada en el trabajo de campo y otra posterior de ensayos de laboratorio.

Los estuarios de los ríos Odiel y Tinto flanquean la ciudad de Huelva y ambos se unen en la parte más meridional de ésta, antes de su desembocadura en el Océano Atlántico. La parte topográficamente más alta de la ciudad se localiza en el Monte Conquero (68 m.s.n.m.), véase el mapa geológico (Fig. 1). Al Oeste de dicho monte hay taludes de dirección media N15°E fuertemente inclinados que localmente llegan a ser subverticales. Sin embargo hacia el Este, la superficie topográfica es una pendiente suave hacia las marismas del estuario del río Tinto.

## Geología, muestreo y metodología

En el área metropolitana de la ciudad de Huelva afloran sedimentos neógenos y cuaternarios de la cuenca del Guadalquivir (Fig. 1). En la zona de estudio han sido diferenciadas cinco unidades sedimentarias. Las formaciones mio-pliocenas se denominan de muro a techo: Fm. Arcillas de Gibraleón, Fm. Arenas de

Huelva y Fm. Arenas de Bonares (Civis *et al.*, 1987; Mayoral y Pendón, 1986). Por encima de ésta última, está la Unidad Continental Conquero en relación con los depósitos plio-pleistocenos y/o cuaternarios? reconocidos en el área. Esta unidad puede considerarse como el equivalente lateral definido más al Este como el Alto Nivel Aluvial por Pendón y Rodríguez Vidal (1987). Los sedimentos

holocenos ligados a la evolución de los estuarios se disponen sobre los materiales mio-pliocenos (Fig. 1). El espesor del relleno holoceno es ligeramente superior a 30 metros (Borrego, 1992).

Distintos rellenos de origen antrópico realizados en las partes topográficamente más bajas de la ciudad, cubren a las formaciones mio-pliocenas y a los sedimentos holocenos.

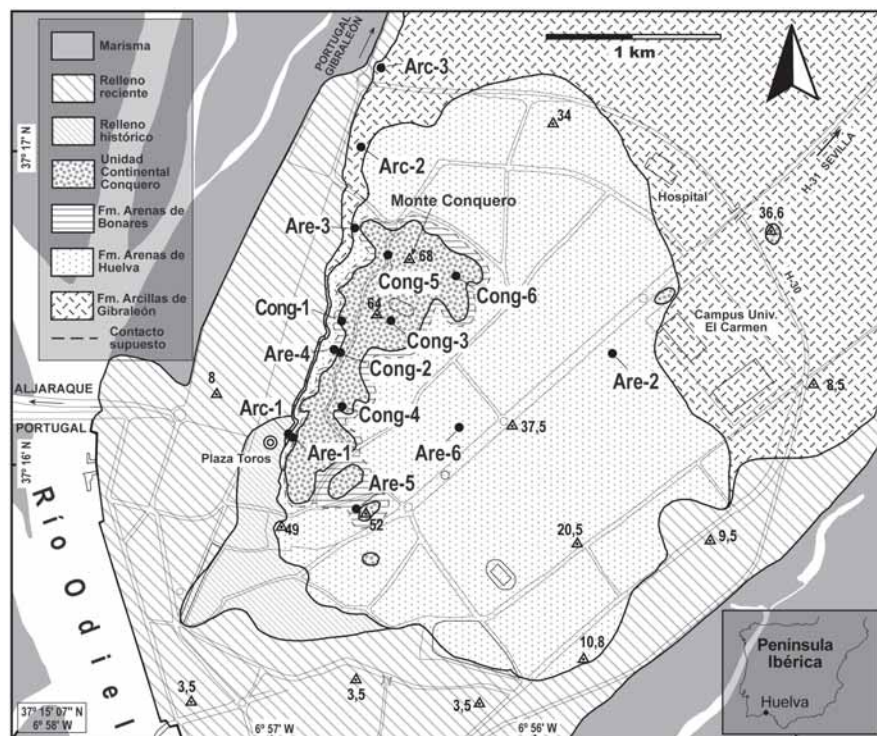


Fig. 1.- Mapa geológico del área estudiada y localización de las muestras.

Fig.1.- Geological map of the study area and location of soil samples.

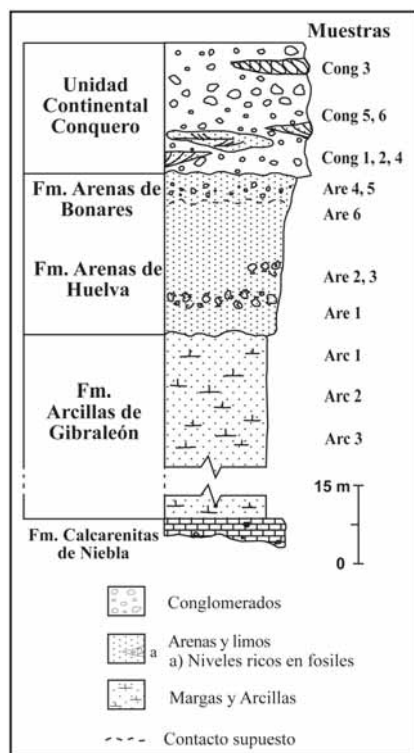


Fig. 2.- Columna estratigráfica para el área de Huelva.

Fig. 2.- Stratigraphic column in the Huelva metropolitan area.

Sobre estos rellenos se ha extendido desde el siglo XVIII parte del área urbana de la ciudad de Huelva (Fig. 1).

La Fm. Arcillas de Gibraleón (equivalente a la Fm. Arcillas Azules del Guadalquivir) está formada por arcillas de color gris azulado, masivas y sin superficies de estratificación visibles. El contenido en carbonatos varía entre el 20 y 40% y en general la fracción arena no es superior al 5% (Civis *et al.*, 1987). En la ciudad de Huelva sólo aflora el techo de la formación, observándose numerosas evidencias de bioturbación y tramos donde la presencia de glauconita es muy abundante. La potencia de esta formación en la zona de estudio no alcanza los 30 metros. La edad ha sido establecida como Tortoniense superior – Plioceno inferior (véase también Siervo, 1984).

La Fm. Arenas de Huelva, definida por Civis *et al.* (1987), está formada en la base por limos (donde abundan las acumulaciones de glauconita) y hacia techo los materiales son arenas de grano fino, de colores amarillo – grisáceos. El contenido en carbonatos no supera el 30%. Esta formación es de edad Tabianiense (Plioceno inferior).

La Fm. Arenas de Bonares está representada por arenas; en la base el tamaño de grano es fino y hacia techo pasa progresivamente a medio y grueso, llegando incluso a aparecer niveles de gravas en las partes más

altas de la formación. En la ciudad de Huelva la potencia de esta formación es de unos 2 metros (Mayoral, com. personal), y se le atribuye una edad Plioceno superior (Mayoral y Pendón, 1986).

La Unidad Continental Conquero está representada por alternancias de niveles de arenas gruesas a muy gruesas, conglomerados y arcillas. Los cantos de los conglomerados son mayoritariamente cuarcíticos, redondeados y unidos por una matriz arcilloso-arenosa. Los materiales de esta formación están en general muy cementados y se caracterizan por presentar tonos rojizos lo que le confiere un rasgo singular en el paisaje onubense. En esta formación se encuentran los principales desniveles topográficos. Los límites de las distintas formaciones son discordancias erosivas, siendo especialmente evidente la que se sitúa en el muro de la Unidad Continental.

El criterio de muestreo responde a un intento por diferenciar las características específicas de cada unidad sedimentaria, y las posibles variaciones en la vertical dentro de ellas (véase Fig. 1 y Fig. 2).

Los diferentes parámetros geotécnicos calculados para las distintas muestras, se han realizado en el Laboratorio General del departamento de Geodinámica y Paleontología de la Universidad de Huelva siguiendo los criterios establecidos en las normas UNE (AENOR, 1999): 103-300: 1993 «Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa», 103-302: 1994 «Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo», 103-101: 1995 «Análisis granulométrico de suelos por tamizado», 103-103: 1994 «Determinación de límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande», 103-104: 1993 «Determinación del límite plástico de un suelo» y 103-602: 1996 «Ensayo para calcular la presión de hinchamiento de un suelo en edómetro» y 103-405: 1994 «Ensayo de consolidación unidimensional de un suelo en edómetro». El sistema de clasificación de suelos que se ha utilizado es el USCS (Unified Soil Classification System). Por otra parte, para el análisis granulométrico de partículas menores de 0.075 mm se ha utilizado un analizador láser de partículas (modelo comercial Marvel Mastersizer 2000) hasta tamaños de 0.02 micras. Para la determinación mineralógica de las arcillas existentes en las muestras se han hecho análisis de difracción de rayos-X.

#### Parámetros de identificación de suelos

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla I en donde las muestras están ordenadas de muro a techo de la secuencia. A la vista de ellos pueden deducirse diferentes

propiedades geomecánicas para cada una de las unidades sedimentarias, observándose incluso variaciones y tendencias que pueden relacionarse con las distintas características geológicas (especialmente litológicas) que han destacado Civis *et al.*, (1987), Mayoral y Pendón (1986).

La Fm. Arcillas de Gibraleón muestra un porcentaje medio de finos (<0,075 mm) del 97.02%, presentando una buena graduación ( $C_u \gg 33$ ). El Límite Líquido (LL) está comprendido entre 40.42-53 %, aumentando con la profundidad, y el Índice de Plasticidad (IP) oscila entre 24-35%. La situación de las muestras en el ábaco de Casagrande es siempre por encima de la línea «A» pudiendo clasificarse según la U.S.C.S como suelos del tipo CL (arcilla de baja plasticidad), para muestras menos profundas, y como suelos de tipo CH (arcillas de alta plasticidad) para las muestras tomadas a mayor profundidad. Datos muy similares para materiales equivalentes fueron obtenidos por Meaza (1999). El análisis por difracción de rayos X de muestras de este suelo ha permitido detectar la presencia de minerales de la arcilla del tipo esmectita, que junto con un índice de actividad (Van Der Merwe, 1964) comprendido entre 1.23 y 1.6, hace que este suelo sea potencialmente hinchable. La presión de hinchamiento estimada es de 0.85 Kp/cm<sup>2</sup>. Así pues, teniendo en cuenta el valor de los parámetros descritos, este material puede ser clasificado como de expansividad media según Rodríguez-Ortiz (1975).

En la Fm. Arenas de Huelva el porcentaje en finos oscila entre 85% en el muro y 70% en el techo. El LL toma valores entre 25-37% y el IP varía entre 4% (en el muro) y 18%. Aunque en esta formación aumenta el tamaño de finos hacia muro, el bajo IP en el mismo, se corresponde con un aumento del porcentaje de tamaño limo en la porción fina. En la Fm Arenas de Bonares, que está representada por un nivel de varios metros de espesor, el contenido en finos oscila entre 36 y 65%. El límite líquido tiene variaciones mínimas (24 – 26 %) y el IP varía entre 6 y 9%. Atendiendo a la porción fina del suelo, las muestras correspondientes a estas dos últimas formaciones, representadas en el ábaco de Casagrande quedan por encima de la línea A, siendo suelos del tipo CL o CL-ML (arcillas o mezcla de arcillas y limos de baja plasticidad); sin embargo tomando el total de la muestra y atendiendo a la clasificación U.S.C.S. se trata en general de suelos del tipo CL, exceptuando la muestra «Are-5» (Tabla I) que corresponde a suelos del tipo SC.

La Unidad Continental Conquero puede clasificarse como suelos de grano grueso con un contenido medio en finos del 16%.

La clasificación de estos materiales varía entre gravas arcillosas (tipo GC), a arenas con finos (del tipo SM o SC). El LL medio en los finos de la matriz es de 32.34%, y el IP oscila entre 2 -16%, pudiendo observarse que ésta es del tipo CL en el ábaco de Casagrande (Fig. 3).

La humedad de las muestras es en general muy pequeña, siendo mayor en el muro de La Fm. Arenas de Huelva, debido a la presencia de las arcillas infrayacentes. Los materiales de las formaciones Arcillas de Gibrleón, Arenas de Huelva y Arenas de Bonares pueden clasificarse según González de Vallejo (2002) como suelos muy duros ( $IL(\text{índice de fluidez}) < 0.25$ ,  $\rho_s$  (peso específico seco)  $> 1.8 \text{ kN/m}^3$ ,  $W$  (humedad)  $< 15\%$  y  $e$  (índice de poros)  $< 0.5$ ), siendo el índice de fluidez calculado siempre negativo.

**Consolidación**

Los ensayos edométricos se han realizado en los materiales con tamaños de grano más fino (Fm. Arcillas de Gibrleón, Fm. Arenas de Huelva y Fm. Arenas de Bonares), en los que es evidente un estado sobreconsolidado de los suelos. De tales ensayos, se obtienen índices de compresibilidad ( $C_c$ ) e índices de entumecimiento ( $C_s$ ) muy pequeños, lo que implica que son suelos muy poco compresibles y baja deformabilidad, aunque se aumente la carga efectiva vertical (Fig. 4 y Tabla I).

Las presiones de preconsolidación calculadas a partir de las curvas de laboratorio según el método de Casagrande (1936) han permitido obtener valores aproximados de  $1.2 \text{ kp/cm}^2$  para las arenas y de  $3.2 \text{ kp/cm}^2$  para las arcillas. Estos valores son coherentes con la historia geológica de la zona, ya que las arcillas han estado a mayor profundidad de acuerdo con la serie estratigráfica.

**Conclusiones**

Los materiales del entorno de la ciudad de Huelva muestran diferencias en el comportamiento geomecánico que están condicionadas por las características litológicas particulares de cada uno de ellos.

La Fm. Arcillas de Gibrleón puede clasificarse como arcillas de media a alta plasticidad del tipo CL y CH, coincidiendo con los trabajos realizados por Meaza (1999) en materiales equivalentes de áreas próximas. Su expansividad potencial puede clasificarse como media debido a su alto valor de actividad, a su contenido en arcillas del tipo esmectita, y a la

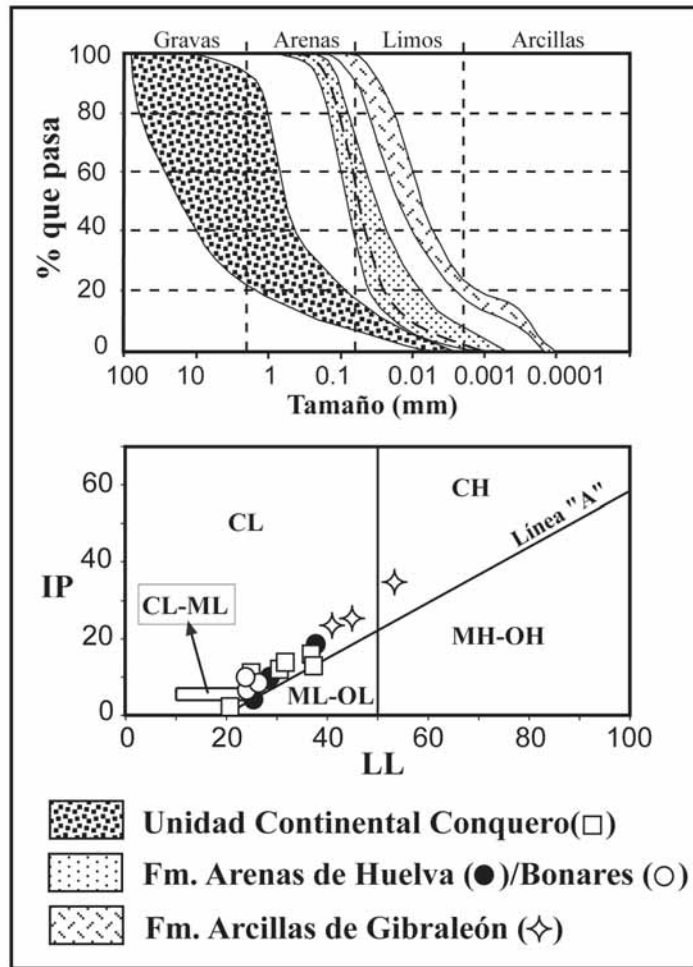


Fig. 3.- Granulometría de las muestras estudiadas. Situación de las muestras en la Carta de plasticidad de Casagrande.

Fig. 3.- Grain-size distribution envelope. Distribution of soil samples of the Casagrande plasticity chart.

	ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS									
	MUEST.	W <sub>n</sub> (%)	%<0,08 mm	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	LL	LP	IP	IL	U.S.C.S
Unidad Continental Conquero	Cong-1	0,36	13,44	190,00	4,12	24,82	14,13	10,69	-1,29	GC
	Cong-2	1,94	18,31	-	-	20,99	18,75	12,24	-1,37	SM
	Cong-3	0,53	13,51	-	-	37,21	21,12	16,08	-1,28	SC
	Cong-4	0,45	18,19	-	-	31,62	18,89	12,73	-1,45	SC
	Cong-5	1,81	12,08	-	-	30,60	18,58	12,02	-1,40	GC
	Cong-6	4,94	22,91	-	-	37,45	24,80	12,66	-1,57	SC
	MEDIA	1,67	16,41	190,00	4,12	30,45	19,38	12,74	-1,39	-
Fm. Arenas Bonares	Are-5	2,02	36,30	5,61	2,14	24,57	15,54	9,03	-1,50	SC
	Are-4	2,29	65,50	5,69	1,66	26,48	19,30	7,18	-2,37	CL
	Are-6	2,94	52,00	7,13	1,65	25,17	18,69	6,48	-2,43	CL
	MEDIA	2,42	51,27	6,14	1,82	25,41	17,84	7,56	-2,10	-
Fm. Arenas Huelva	Are-3	11,18	70,00	3,94	1,32	28,33	18,31	10,01	-0,71	CL
	Are-2	18,00	75,30	7,87	2,03	37,33	19,05	18,28	-0,06	CL
	Are-1	18,08	87,61	10,09	1,92	25,27	20,83	4,44	-0,62	ML
	MEDIA	15,75	77,64	7,30	1,76	30,31	19,40	10,91	-0,46	-
Fm. Arcillas Gibrleón	Are-1	4,80	99,56	34,42	4,27	40,42	16,40	24,02	-0,48	CL
	Are-2	11,15	99,00	33,83	4,28	44,64	18,57	26,07	-0,28	CL
	Are-3	5,10	92,50	50,63	3,42	53,00	17,83	35,17	-0,36	CH
	MEDIA	7,02	97,02	32,96	3,99	46,02	17,60	28,42	-0,38	-

Tabla I.- Resultados obtenidos en los ensayos geotécnicos. W<sub>n</sub>: humedad natural; C<sub>u</sub>: coeficiente de uniformidad; C<sub>c</sub>: coeficiente de curvatura; LL: límite líquido; LP: límite plástico; IP: índice de plasticidad; IL: índice de fluidez; USCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Table I.- Results of geotechnical test. W<sub>n</sub>: water content; C<sub>u</sub>: uniformity coefficient; C<sub>c</sub>: coefficient of curvature; LL: liquid limit; LP: plastic limit; IP: plasticity index; IL: flow index; USCS: Unified Soil Classification System.

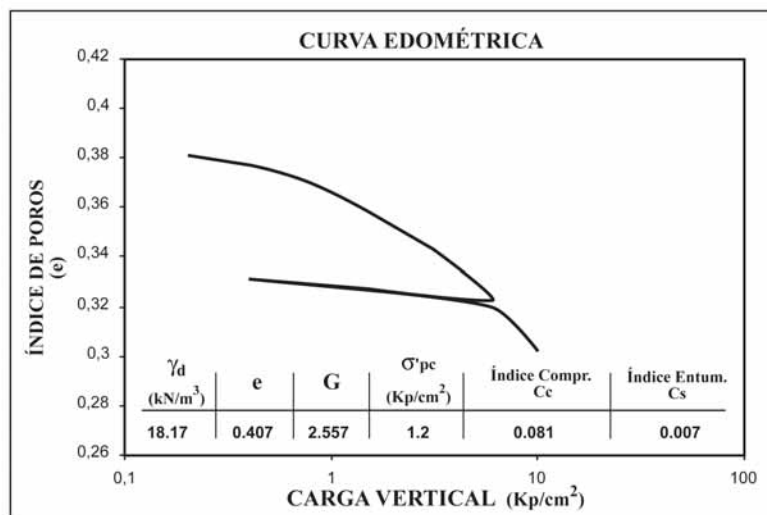


Fig. 4.-Ejemplo de curva de consolidación para muestras de la Fm. Arenas de Huelva.  $\gamma_d$ : densidad seca del suelo; e: índice de poros inicial; G: peso específico;  $\sigma'_{pc}$ : presión de preconsolidación; Cc: índice de compresión; Cs: índice de entumecimiento.

Fig. 4.- Laboratory consolidation curve of Arenas de Huelva formation soil sample.  $\gamma_d$ : dry unit weight; e: initial void ratio; G: specific gravity;  $\sigma'_{pc}$ : preconsolidation pressure; Cc: compression index; Cs: recompression index.

presión de hinchamiento verificada en el laboratorio ( $0.853 \text{ Kp/cm}^2$ ). Esta propiedad debe ser tenida en cuenta en los estudios geotécnicos, debido a las condiciones climáticas en la ciudad de Huelva, caracterizadas por la alternancia de periodos secos y húmedos.

Desde el punto de vista geomecánico, las Fms. Arenas de Huelva y Arenas de Bonares pueden considerarse con comportamientos similares. Sin embargo, presentan ciertas diferencias en determinados parámetros característicos de los suelos, que reflejan sus diferencias geológicas. La Fm. Arenas de Huelva tiene un porcentaje de finos entre 70-75% que se hace mayor hacia el muro (85%). También hacia el muro disminuye el IP que pasa de ser del 10-18%, al 4%. Estas variaciones son debidas a la presencia de un nivel de limos que justifica estas propiedades. Esta formación puede clasificarse como del tipo CL, mientras que en el nivel de limos, algo más plástico, son del tipo CL-ML. La Fm. Arenas de Bonares puede caracterizarse por un menor porcentaje de finos, que varía entre en 36-65%, aunque puede ser cla-

sificada también como suelos del tipo CL o SC.

De acuerdo con los índices de W, IL ( $\ll 0$ ), los materiales de las Fms. Arenas de Huelva, Arenas de Bonares y Arcillas de Gibrleón pueden considerarse como suelos de consistencia muy dura y muy resistentes.

La consolidación de muestras de suelo de las formaciones Arenas de Huelva, Arenas de Bonares y Arcillas de Gibrleón, da lugar a curvas edométricas típicas de suelos sobreconsolidados. La presión de preconsolidación es mayor en la Fm. Arcillas de Gibrleón. Este hecho es relacionable con las diferencias en la historia geológica del suelo, ya que las arcillas ocupan una posición más baja en la serie. Por otra parte, podrían haberse producido diferencias en la consolidación debidas a la variación del nivel piezométrico. Los índices de compresión y entumecimiento calculados a partir de las curvas de compresión noval y de descarga, respectivamente, son bajos, indicando que son suelos poco deformables, lo cual es también explicable por su baja porosidad.

La Unidad Continental Conquero corresponde a los materiales más heterogéneos desde el punto de vista granulométrico. Puede clasificarse como suelos de tipos GC, SM, SC.

## Referencias

- AENOR (1999). *Geotecnia. Ensayos de campo y laboratorio*. AENOR, N.A. 71.970, 385 p.
- Borrego J. (1992). *Sedimentología del Estuario del río Odiel (Huelva, S.O. España)*. Tesis Doctoral, Univ. de Sevilla, 315 p.
- Camacho, M.A. y Alonso-Chaves, F.M. (1997). En: *Cuaternario Ibérico* (J. Rodríguez-Vidal, Ed.). Univ. Huelva, 127-131.
- Casagrande A. (1936). *Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3, 60-64
- Civis, J., Sierro, F., González, J., Flores, J., Andrés, I., Porta, J. y Valle M. (1987). En: *Paleontología del Neógeno de Huelva* (J. Civis, Ed.). Univ. Salamanca, 9-12.
- González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Education, Madrid, 715 p.
- Maeza, T. (1999). *Microfábrica y mineralogía de las arcillas azules del Guadalquivir: influencia en su comportamiento geotécnico*. CEDEX, 294 p.
- Mayoral, E. y Pendón, J. G. (1986). *Acta Geologica Hispanica*, 21-22, 507-513.
- Pendón, J.G. y Rodríguez Vidal, J. (1986). *Acta Geologica Hispanica*, 21-22, 107-111.
- Rodríguez Ortiz, J.M. (1975). *Boletín de Información. Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo*, 108, 3-30.
- Sierro, F.J. (1984). *Foraminíferos Plancónicos y Bioestratigrafía del Mioceno superior-Plioceno del Borde Occidental de la Cuenca del Guadalquivir (S.O. de España)*. Tesis Doctoral, Univ. Salamanca, 391 p.
- Van Der Merwe (1964). *South African Institution of Civil Engineers*, 6, 103-107