

ARCILLAS EXPANSIVAS DEL GRAN BUENOS AIRES

Mauro Codevilla

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Av. Las Heras 2214, Buenos Aires.
mcodevilla@fi.uba.ar

RESUMEN

Se estudiaron diez suelos activos superficiales provenientes del Gran Buenos Aires. En todos los suelos se llevó a cabo una batería de ensayos con el objeto de establecer correlaciones entre los parámetros medidos. Los ensayos son: i) Clasificación SUCS; ii) Límite de contracción; iii) Sedimentometría; iv) Estimación de la superficie específica por la técnica de absorción de azul de metileno; v) Presión de hinchamiento; vi) Hinchamiento libre; y vii) pH. En el artículo se presentan los resultados obtenidos.

ABSTRACT

Ten active superficial soils from the Gran Buenos Aires were investigated. For all soils, a series of laboratory tests was performed to establish correlations between the measured parameters. These tests are: i) USCS classification; ii) Contraction limit; iii) Hydrometer analysis; iv) Estimation of specific surface by methylene blue absorption; v) Swelling pressure; vi) Free swell test; and vii) pH. The obtained results are presented in the paper.

PALABRAS CLAVE: Arcillas expansivas - Actividad - Superficie específica - Hinchamiento.

KEYWORDS: Expansive clays – Activity – Specific surface - Swelling.

INTRODUCCIÓN

El problema de los suelos activos en el área metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires ha sido objeto de estudio a lo largo de los últimos veinticinco años (Moretto 1957, 1958, González Bonorino 1965, Nadeo 1967, Trevisán 1967, 1983). En estos trabajos se ha realizado una correlación entre algunas propiedades índice y las características de expansividad, como presión de hinchamiento e hinchamiento libre.

El trabajo que se presenta consiste en la ejecución de una serie de ensayos sobre diez suelos activos superficiales provenientes del Gran Buenos Aires. Los ensayos son: i) Clasificación SUCS; ii) Límite de contracción; iii) Sedimentometría; iv) Estimación de la superficie específica por la técnica de absorción de azul de metileno; v) Presión de hinchamiento; vi) Hinchamiento libre; y vii) pH.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Selección de muestras

Se seleccionaron muestras superficiales provenientes de los siguientes sitios del Gran Buenos Aires: Benavídez, Campana, Carlos Ken, Escobar, Exaltación de la Cruz, Ezeiza, Guernica, Pacheco y Zárate. También se incluyeron los resultados de una muestra recuperada durante la excavación de la línea H de Subterráneos de la Ciudad de Buenos Aires. Esta muestra, recuperada a quince metros de profundidad y que por lo tanto no es un suelo superficial, se denomina Once y permite la comparación del comportamiento entre suelos superficiales recientes y suelos provenientes de épocas geológicas anteriores.

Clasificación

En la Tabla 1 se presentan los ensayos de clasificación de todos los suelos ensayados: Límite líquido (LL), límite plástico (LP) y límite de contracción (LC) según normas ASTM D4318-00 y D0427-04. En la figura 1 se puede apreciar la ubicación de cada una de las muestras en la Carta de Plasticidad.

Muestra	Profundidad (m)	Procedencia	LL (%)	LP (%)	LC (%)	IP	SUCS
I	Sin datos	Ezeiza	70	32	12	38	CH
II	0.6 – 0.8	Zárate	57	21	17	36	CH
III	0.8 – 1.0	Benavídez	76	28	16	48	CH
IV	0.4 – 0.6	Campana	83	30	15	53	CH
V	0.6 – 0.7	Escobar	73	27	17	46	CH
VI	Sin datos	Ex. Cruz	67	30	15	37	CH
VII	0.4 – 0.7	C. Ken	82	28	16	54	CH
VIII	0.5 – 0.7	Guernica	65	23	18	42	CH
IX	0.7 – 1.0	Pacheco	66	30	13	36	CH
X	0.6 – 0.7	Ezeiza II	55	25	15	30	CH
XI	14 – 15	Once	62	38	22	24	MH

Tabla 1: Clasificación SUCS.

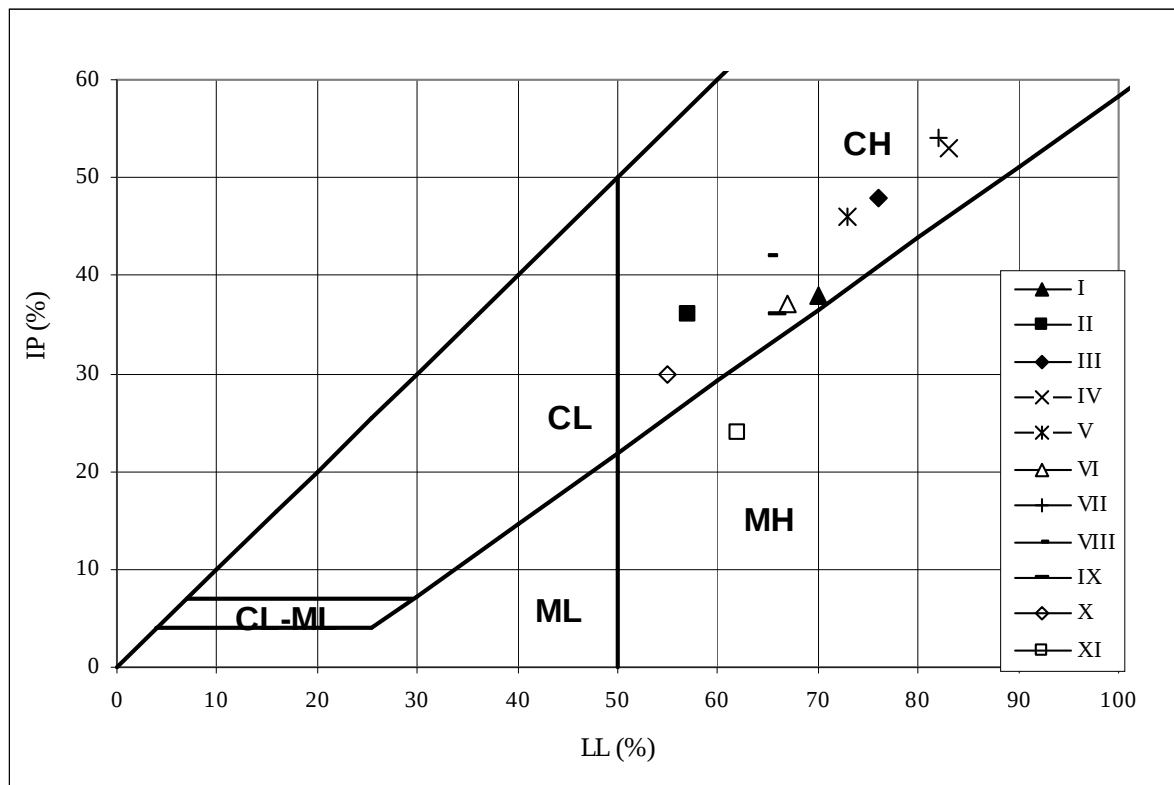


Fig. 1: Ubicación de los suelos ensayados en la carta de plasticidad.

Hidrometría y actividad

Se ejecutaron ensayos hidrométricos de todas las muestras según norma ASTM D0 422-63R02. Para todas las muestras se utilizó hexametáfosfato de sodio al 4% como agente dispersante. Los resultados se presentan en la figura 2. Con la información obtenida en la clasificación e hidrometría se calculó la actividad (Skempton 1953). Los resultados se presentan en la Tabla 2.

$$A_c = \frac{IP}{\text{arcilla}(\%)} \quad (1)$$

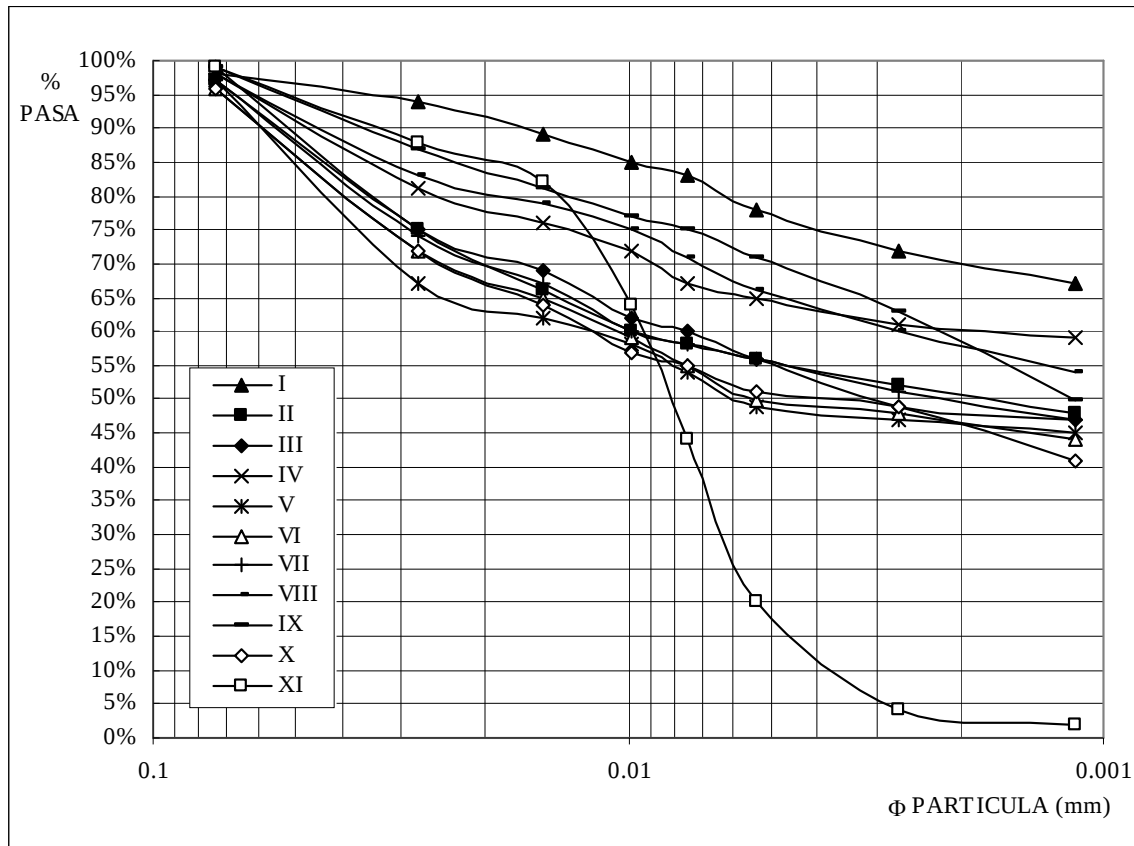


Fig. 2: Ensayos de hidrometría.

Muestra	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
#200 (%)	98	97	99	98	97	96	97	98	99	96	99
C (%)	70	50	47	60	46	46	48	58	58	46	2
M (%)	28	47	52	38	51	50	49	40	41	50	97
A _c	0.5	0.5	0.7	1.0	1.0	0.8	1.1	0.7	0.6	0.7	12.0

Tabla 2: Mediciones de pasa tamiz #200, fracciones arcilla y limo, actividad.

Puede observarse que la muestra proveniente de la excavación subterránea (m. XI), tiene un contenido de arcillas muy reducido para su plasticidad.

Superficie específica

Se determinó la superficie específica de todas las muestras mediante la técnica de absorción de azul de metileno (Santamarina 2002). El resumen de la técnica de ensayo es: i) se prepara 10 gr de suelo secado a horno; ii) se titula la muestra con una solución de azul de metileno al 0.50% en agua destilada en intervalos de 0.5 ml; iii) se agita durante un minuto y se deposita una gota de la mezcla en un papel de filtro. El ensayo finaliza cuando un halo difuso se forma en la periferia de la gota, lo que indica que la superficie de las partículas de arcilla está saturada y que queda azul de metileno libre en solución. Se define con la letra N al número de gotas de 0.5ml de solución de azul de metileno necesarias para que se produzca el halo difuso. Se calcula la superficie específica mediante la expresión (Santamarina 2002)

$$S_e = \frac{1gr}{319.87 \frac{gr}{mol}} \times \frac{1}{200ml} \times (N \times 0.5ml) \times N_{Av} \times A_{AM} \times \frac{1}{10gr} \quad (2)$$

donde S_e es la superficie específica total, medida en m^2/gr , N_{av} es el número de Avogadro, 6.02×10^{23} moléculas/mol, y A_{AM} es el área de la molécula de azul de metileno, 130 Å^2 . Los resultados se presentan en la tabla 3. Las Figuras 3, 4 y 5 indican la secuencia del ensayo realizado para las muestras I, IX y XI respectivamente.

Muestra	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
S_e (m ² /gr)	104	116	125	132	127	122	116	116	83	64	153

Tabla 3: Mediciones de superficie específica.

Las mediciones de superficie específica efectuadas en cada una de las muestras permite estimar que el grupo mineralógico predominante en las arcillas es el grupo *illita*. No se realizaron técnicas de difracción de rayos X para comprobar esta afirmación.

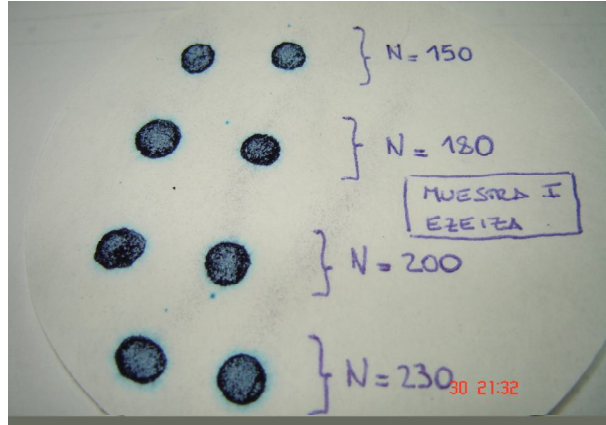


Fig. 3: Muestra I.

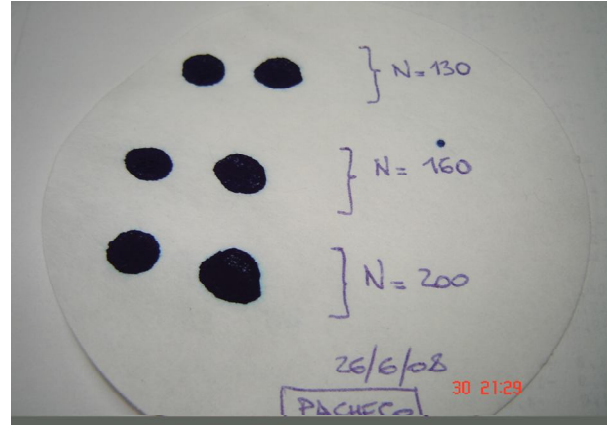


Fig. 4: Muestra IX.

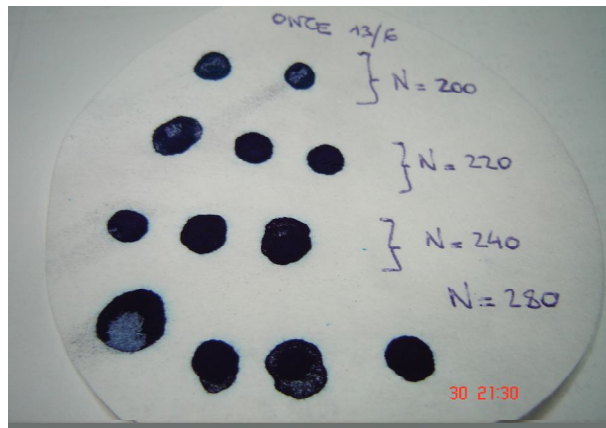


Fig. 5: Muestra XI.

Presión de hinchamiento

Se ejecutaron ensayos de presión de hinchamiento para todas las muestras, según norma ASTM D 4546-03. Dado que la presión de hinchamiento depende en gran medida de la humedad de compactación, el grado de saturación inicial de cada una de las muestras se mantuvo entre un 40% y un 60%. Se midió la presión de hinchamiento de muestras compactadas con energías de compactación del 100% de Proctor Standard (ASTM D0698-00AE01). Los resultados se presentan en la figura 6 y en la tabla 4. Puede observarse que la muestra XI desarrolló una presión de hinchamiento muy superior a la del resto de las muestras.

Muestra	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
P_{HIN} (KPa)	58	59	69	35	50	66	36	36	60	54	134

Tabla 4: Mediciones de presión de hinchamiento.

Para analizar la influencia del grado de compactación en la magnitud del hinchamiento se efectuaron dos ensayos con muestras X compactadas con la energía del proctor estándar y del doble. Los resultados se presentan en la figura 7.

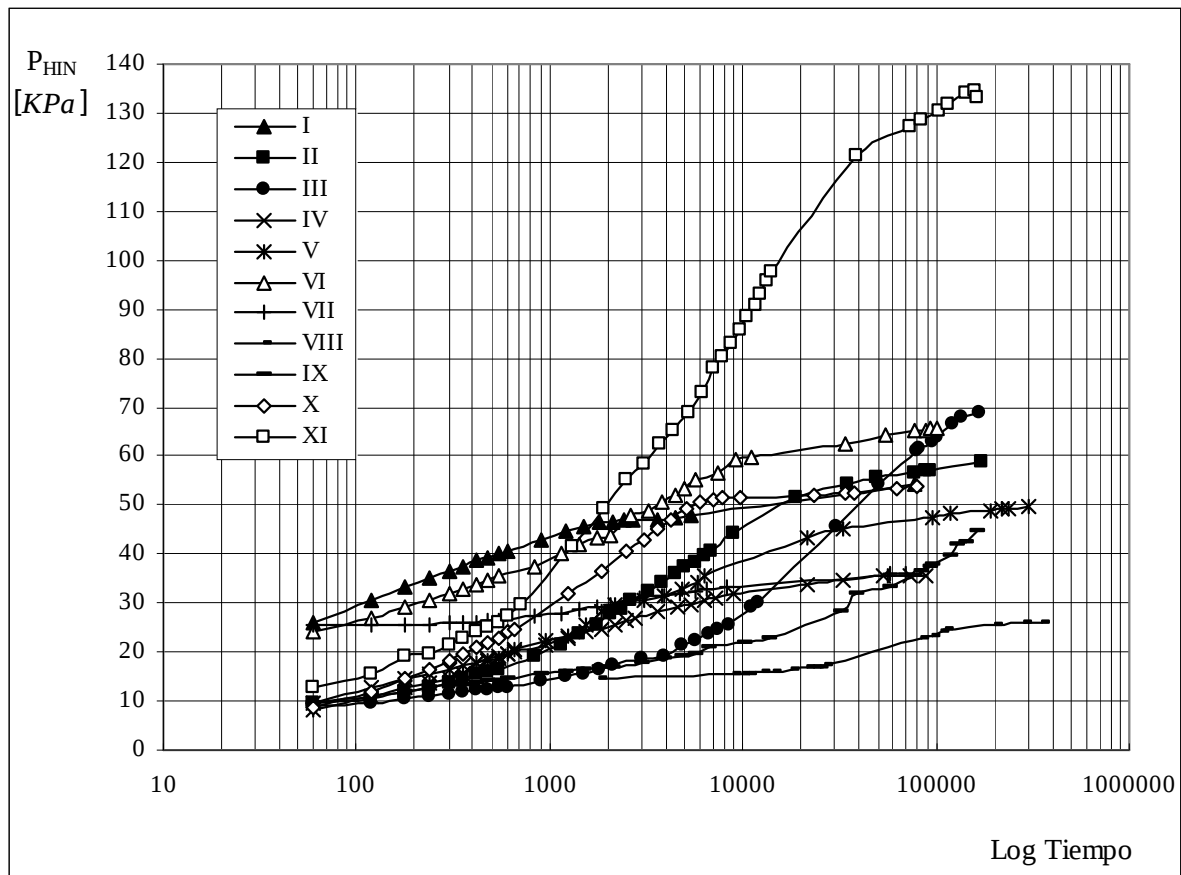


Fig. 6: Curvas de presión de hinchamiento.

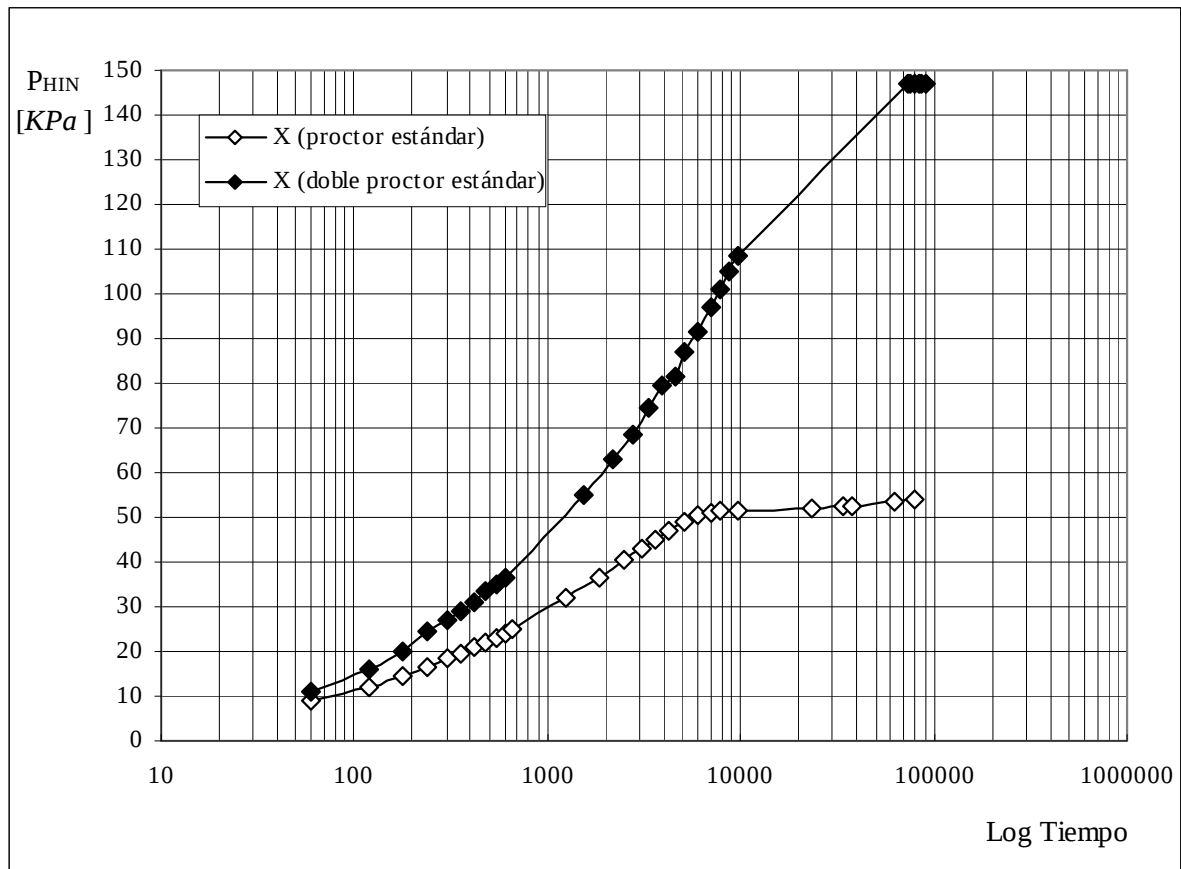


Fig. 7: Curvas de presión de hinchamiento para diferentes energías de compactación.

Se observa que, aunque las muestras presentaron expansiones libres muy diferentes, los valores de presión de hinchamiento son relativamente uniformes y moderados para todos los suelos ensayados. Debe recordarse que todas las muestras fueron compactadas al 100% de Proctor Standard.

Indice de expansión al 50% de saturación

Se define como índice de expansión (*Expansion Index*) a la relación entre la deformación vertical de la muestra y su altura inicial

$$EI = \frac{\Delta H}{H_1} \times 1000 \quad (3)$$

donde EI es el índice de expansión medido, $\Delta H = (H_1 - H_2)$ es el cambio de altura y H_1 es la altura inicial. Se corrige el resultado obtenido para un grado de saturación del 50% mediante la expresión

$$EI_{50} = EI - (50 - S_r) \times \frac{65 + EI}{220 - S_r} \quad (4)$$

donde EI_{50} es el índice de expansión corregido al 50% de saturación y S_r es el grado de saturación inicial de la muestra. Se realizó el ensayo según norma ASTM D 4829-03. Es condición necesaria para el uso de esta expresión que el grado de saturación inicial esté comprendido entre un 40% y 60%. Los resultados se presentan en la tabla 5.

Muestra	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
EI_{50}	103	88	139	107	87	90	63	132	132	65	99

Tabla 5: Índice de expansión al 50% de saturación.

pH

El pH se midió de acuerdo a la norma ASTM D 4972-01. Los resultados se presentan en la tabla 6.

Muestra	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
pH	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	7.5	6.0	6.5	7.0	6.0	7.5
	6.5	7.5	7.5	6.5	6.5	8.0	6.5	7.0	7.5	6.5	8.0

Tabla 6: Medición de pH.

RELACIONES ENTRE LOS PARAMETROS MEDIDOS

La dispersión de resultados impide el empleo de expresiones de ajuste. Esta conclusión es consistente con la bibliografía (Altmeyer 1955, Cerato 2001, Chen 1965, Holtz 1959, Komornik 1969, Najak 1974, Seed 1962, Snethen 1975, Vijayvergiya 1973).

Clasificación vs superficie específica

En las figuras 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos. No puede observarse una correlación clara entre clasificación y superficie específica para los suelos ensayados. Sin embargo, puede decirse que todas las muestras que presentaron comportamiento expansivo tienen superficies específicas mayores a $S_e = 80 \text{ m}^2/\text{gr}$.

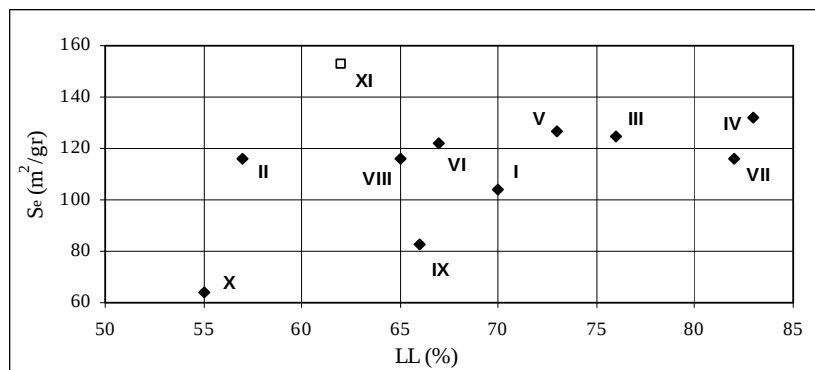


Fig. 8: Relación LL - S_e .

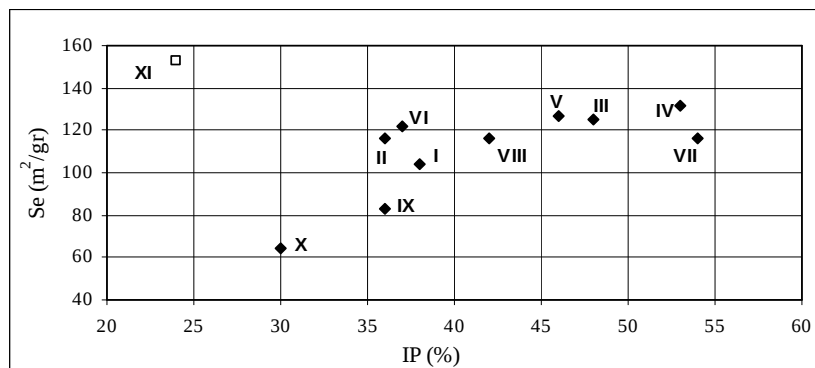


Fig. 9: Relación IP - S_e .

Clasificación vs parámetros de expansividad

En las figuras 10 a 15 se presentan la relaciones entre LL e IP, en abcisas, y actividad, expansión libre y presión de hinchamiento, en ordenadas. Sólo pudo establecerse una correlación débil entre actividad e IP.

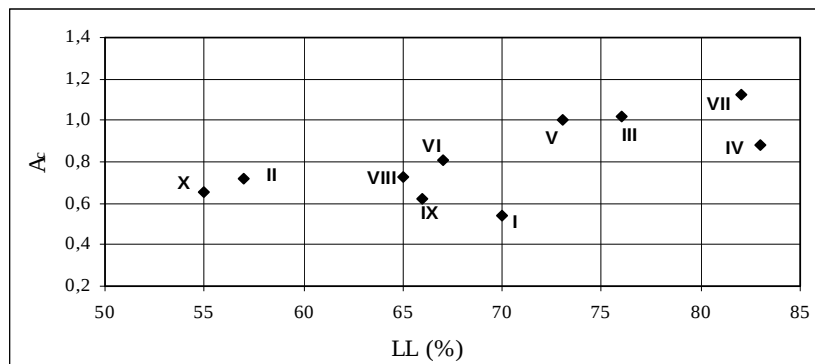


Fig. 10: Relación LL - A_c

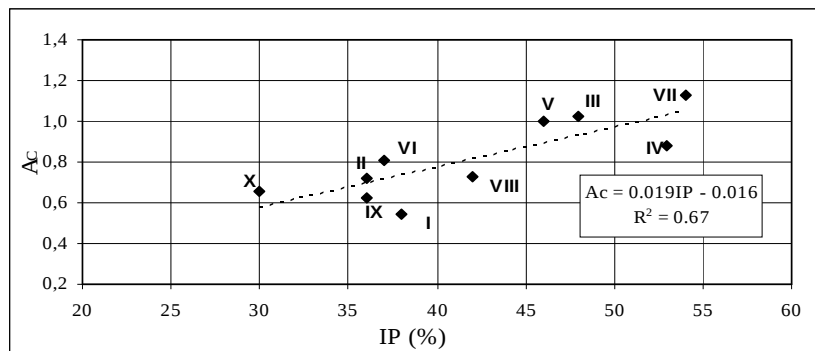


Fig. 11: Relación IP - A_c

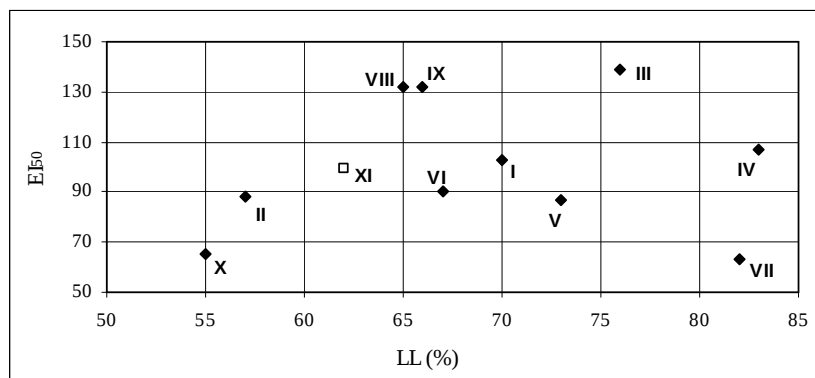


Fig. 12: Relación LL - EI₅₀

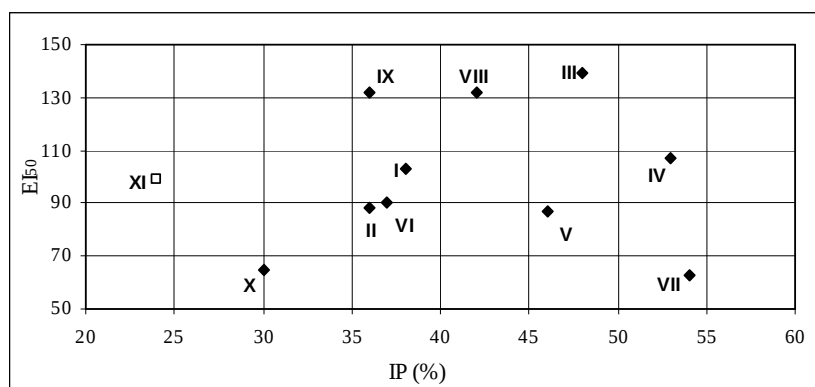


Fig. 13: Relación IP - EI₅₀

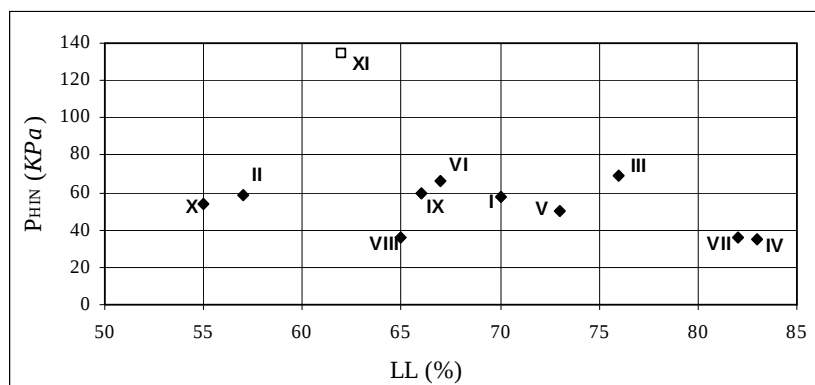


Fig. 14: Relación LL - P_{HIN}

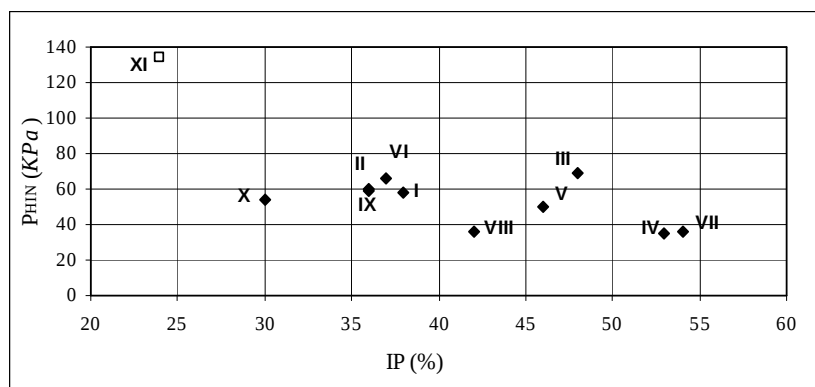


Fig. 15: Relación IP - P_{HIN}

Superficie específica vs parámetros de expansividad

En las figuras 16 a 18 se presentan la relaciones entre superficie específica y actividad, índice de expansión libre y presión de hinchamiento.

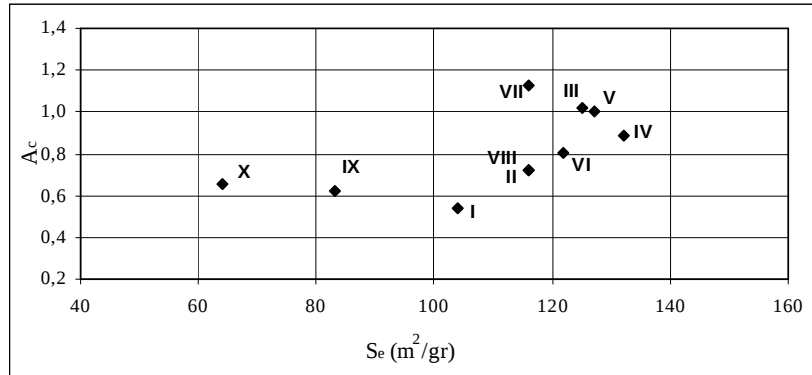


Fig. 16: Relación $S_e - A_c$

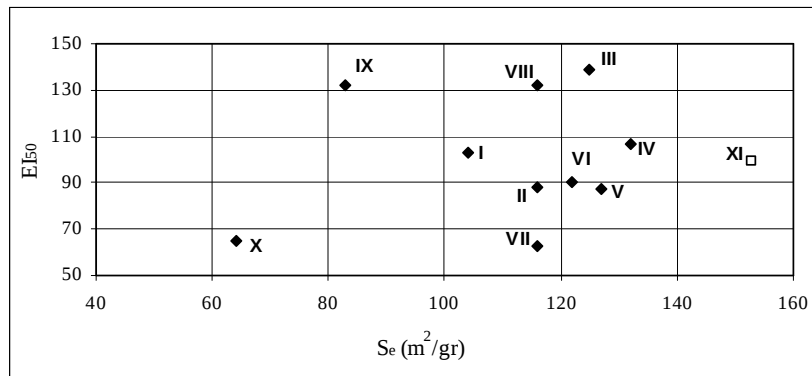


Fig. 17: Relación $S_e - EI_{50}$

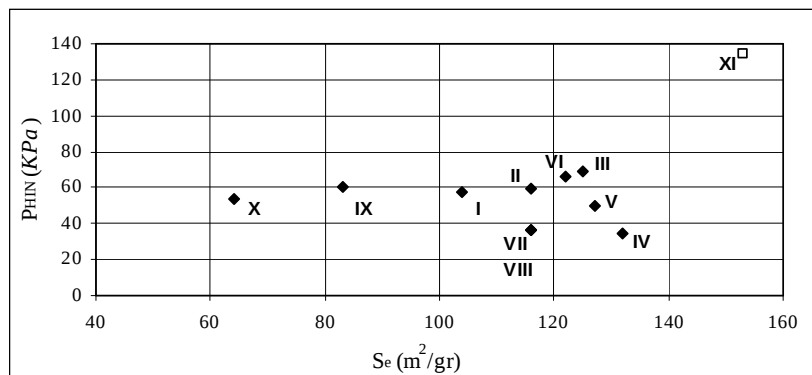


Fig. 18: Relación $S_e - P_{HIN}$

CONCLUSIONES

Con el objeto de calibrar correlaciones para suelos expansivos del Gran Buenos Aires, se efectuaron ensayos de clasificación, físicos y mecánicos sobre muestras superficiales del Gran Buenos Aires y sobre una muestra profunda recuperada en el barrio de Once. Se concluyó que la dispersión de resultados impide el empleo de expresiones de ajuste generales.

Aunque las muestras presentaron valores muy diferentes de expansión libre, la presión de hinchamiento fue relativamente uniforme y moderada para todos los suelos ensayados. Si esta tendencia se confirma, se pueden unificar criterios para el diseño de obras en contacto con arcillas activas en Buenos Aires.

Es destacable el comportamiento que presenta la muestra XI, perteneciente a la Formación Pampeano y extraída del barrio de Once a 15 m de profundidad. Aunque su expansión libre es similar a la de las otras muestras, su presión de hinchamiento es significativamente superior. Esta circunstancia debe ser tenida en cuenta en el diseño de túneles cuyo procedimiento constructivo implique una fuerte descompresión de los suelos bajo solera.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Ing. Alejo O. Sfriso por haber establecido los lineamientos generales de este trabajo y de Diego Andrés Ricci en la ejecución de algunos de los ensayos presentados. Al Laboratorio de Materiales y Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, ámbito en el cual se desarrollaron gran parte de los ensayos durante el año 2007 .

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ALTMAYER, W.T., 1955. Discussion of engineering properties of expansive clays. Proceedings, American Society of Civil Engineers, Vol LXXXI, separate nro. 658, pp. 17-19.
- CERATO, AMY. B., 2001. Influence of specific surface area on geotechnical characteristics of fine-grained soils, Department of Civil and Environmental Engineering University of Massachusetts.
- CHEN. F.H., 1965. The use of piers to prevent the uplifting of lightly loaded structures founded on expansive soils. Proceedings, First International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils. Texas A&M University, College Station, pp. 152-171.
- GONZALEZ BONORINO, F., 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, tomo XX num 1, pp. 67-148.
- HOLTZ, W.G., 1959. Expansive Clays – Properties and problems, Quarterly, Colorado School of Mines, Vol LIV, nro. 4, pp. 89-125.
- KOMORNIK, A. AND DAVID, D., 1969. Prediction of swelling pressures of clay. Journal, Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol XCV, SM1.
- MORETTO, O., 1957. Fundación de edificios livianos sobre arcillas activadas. Revista La Ingeniería, nro. 955, pp. 168-175.
- MORETTO, O., 1958. Discusión sesión 5: Foundation of structures. 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation. Engineering.. Londres, Vol III, pp. 166-167.
- NADEO J.R. y TREVISAN S.J., 1967. El agrietamiento en suelos activos. Revista del Centro de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires, nro 59, pp. 68-76.
- NAJAK, N.V. AND CHRISTENSEN, R.W., 1974. Swelling characteristics of compacted expansive soils. Clays and Clay Minerals, Vol XIX, nro 4.
- SANTAMARINA J.C., K.A. KEIN, Y.H. WANG, E. PRENCKE, 2002. Specific surface: determination and relevance. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 39.
- SEED, H.B., WOODWARD, R.J. AND LUDGREN, 1962. Prediction of swelling potential for compacted clays. Journal, Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol 88, SM3, pp. 53-87.
- SKEMPTON, A.W., 1953. The colloidal activity of clays. Proceedings 3rd International Conference of Soil Mechanics Foundation Engineering. Vol I, pp 57, Switzerland.
- SNETHEN D.R. AND OTHERS, U.S. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION, 1975. A review of engineering experiences with expansive soils in highway subgrades. Federal Highway Administration, Offices of Research & Development, Washington D.C. 20590.
- TREVISAN, S. J., 1983. Métodos edométricos para estimar la presión de hinchamiento en suelos activos. Descripción comparativa de las trayectorias de tensiones. X Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería en Fundaciones. Vol I, pp 47-73, Bs. As., La Plata.
- VIJAYVERGIYA, V.N. AND HAZZALY, O.I., 1973. Prediction of swelling potential for natural clays. Proceedings, Third International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, Haifi, Israel.