

# Tipología de suelos y excavaciones profundas en el Sudoeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

**Carlos Alberto Di Salvo, Marcelo Adrián Masckauchan, Alberto Rubén López, José Luis Verga, Alfredo Mario Graich<sup>1</sup>**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Civil. Mozart 2300 (C1407IVT) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

*carlosalbertodisalvo@gmail.com*

*Recibido el 23 de diciembre de 2015, aprobado el 26 de enero de 2016*

## Resumen

El comportamiento de las excavaciones de obras civiles de mediana profundidad durante su construcción y su puesta en servicio depende de diversos factores, entre los que resaltan las condiciones geológicas y geotécnicas del entorno, y la calidad y disposición del agua subterránea. Los suelos emplazados en el sector bajo estudio, corresponden a los denominados Sedimentos Pospampeanos, caracterizados por una aptitud de cimentación regular a mala, lo que se suma a un nivel freático elevado. En este entorno, se evalúa la aptitud del método de hincado de tablestacas en relación al potencial de licuefacción de los sedimentos pospampeanos.

**PALABRAS CLAVE:** LICUEFACCIÓN – SUELOS – POSPAMPEANO – TABLESTACAS – CIUDAD AUTÓNOMA BUENOS AIRES

## Abstract

The medium depth excavations behavior in civil works during their construction and operation depends on several factors, among which geological and geotechnical conditions and groundwater position and quality are the most remarkable. Soils under the studied area are called Postpampeano Sediments, characterized by regular to bad foundation behavior, in addition with an elevated water table. In this environment, the aptitude of the sheet piles sinking method is assessed, regarding the liquefaction potential of postpampeano sediments.

**KEYWORDS:** LIQUEFACTION – SOILS – POSTPAMPEANO – SHEET PILES –BUENOS AIRES CITY

<sup>1</sup> También han participado de la elaboración de este trabajo: Silvio Antonio Bressan, Jorge González Morón, Alejandro Emmanuel Celli, Aitor Porcel Laburu y Juan Pablo Guerra

## Introducción

El comportamiento de las excavaciones de obras civiles de mediana profundidad durante su construcción y su puesta en servicio depende, además del objetivo de la obra, de las condiciones geológicas y geotécnicas del entorno, del proyecto geométrico de la excavación, del proceso constructivo, del tipo de suelo, de la posición, caudal y características químicas del agua subterránea (freática).

Para la caracterización de los suelos y el desarrollo de la presente investigación se han tomado los datos obtenidos del PID ECUTI-BA0002101TC: Interacción de las Construcciones con las Condiciones Geotécnicas. Base de Datos para la Ampliación de la Carta Geotécnica del Sudoeste de la C.A.B.A. (2011 – 2012). A partir de ellos se analiza su potencialidad de licuación, analizando asimismo las obras que en este ambiente han sufrido problemas.

El Reglamento Argentino CIRSOC 103 (INTI - CIRSOC, 2013) prevé que se deberá estudiar el riesgo potencial de desarrollo de problemas derivados de la *"inestabilidad dinámica de suelos"*, así como también *"disponer, cuando resulte posible, las medidas adecuadas para eliminar o mitigar sus efectos"*.

Entre los sostenimientos de las excavaciones a cielo abierto que generalmente se proponen en los pliegos de condiciones técnicas de estas obras, prevalecen las tablestacas hincadas. Este sistema de trabajo puede favorecer la pérdida de resistencia cortante de terrenos incoherentes saturados sometidos a cargas cíclicas en condiciones no drenadas.

La finalidad de la investigación es determinar si estos suelos se corresponden con suelos licuefactables y formular metodologías para eliminar o mitigar los efectos mencionados precedentemente e incorporarlas a los pliegos de especificaciones técnicas particulares.

### Objetivos particulares

Los objetivos particulares de la investigación de la cual forma parte este trabajo, son:

1. Caracterizar los suelos de la zona, su grado de saturación, diámetro medio  $D_{50}$ , coeficiente de uniformidad, contenido de finos, densidad

relativa del SPT para profundidades menores de 10 metros.

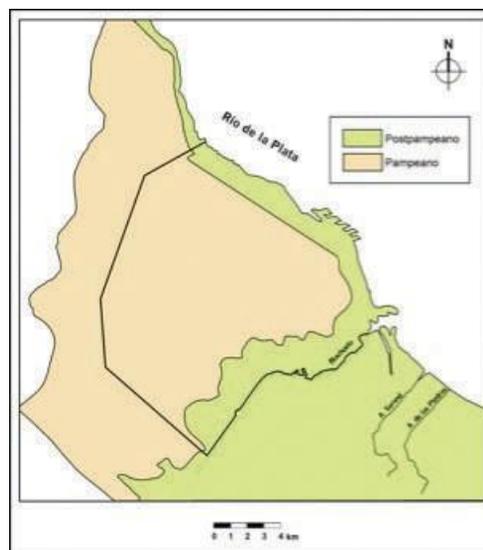
2. Definir, para el caso particular de suelos con posible movilidad cíclica, su potencial de licuación.

3. Establecer zonas con similares características geotécnicas, recomendando técnicas de excavación, sostenimiento y fundación.

4. Evaluar las metodologías actuales constructivas disponibles y proponer otras, si fuese el caso.

### Características de los suelos en el S.O. de la C.A.B.A.

Pertencen a los Sedimentos Pospampeanos, denominación que abarca depósitos recientes de arenas limosas, limos y arcillas de origen fluvial y marítimo, normalmente consolidados y poco estructurados, con espesores de cinco a veinticinco metros, que se encuentran en la ribera del Paraná inferior, Río de la Plata y afluentes. La edad de la formación va desde el presente hasta unos diez mil años. Existen dos tipos de materiales: limos y arenas limosas subangulares de origen fluvial (Formación Luján) y arcillas CH de origen marino (Formación Querandí). La disposición general de estos suelos en la C.A.B.A. puede apreciarse en la Figura 1.



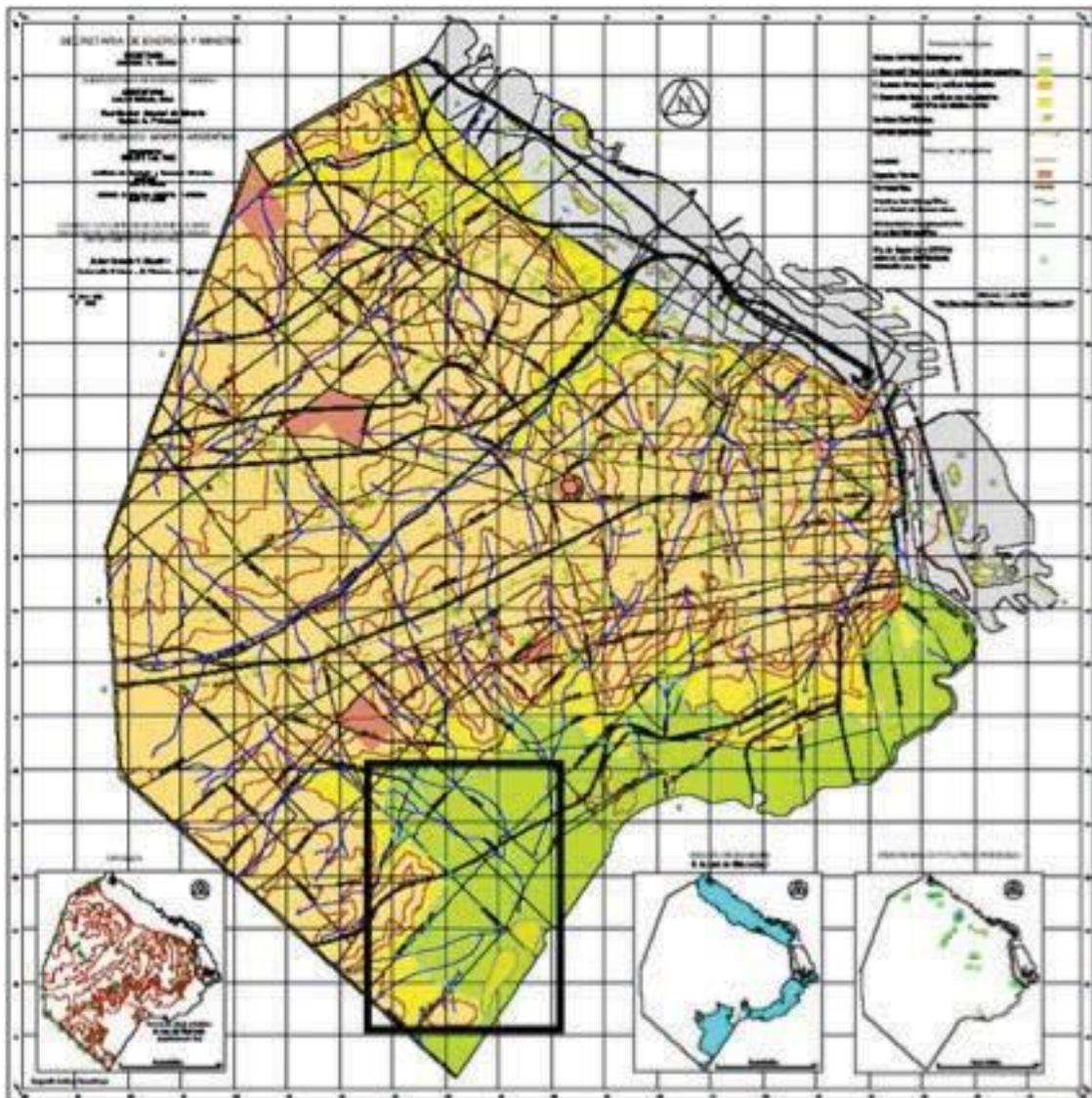
**Fig. 1. Mapa Geológico de la C.A.B.A.** (Auge, 2004)

Entre 1998 y 2001, bajo la dirección de H. V. Rimoldi y sobre la base del Convenio celebrado por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) con la Universidad de Buenos Aires (UBA), por intermedio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, se llevó a cabo la tarea preliminar de la elaboración de la Carta Geológica - Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires. Primera parte: Carta Geológica y base de datos de estudios geotécnicos (Rimoldi, 2001).

Como tarea inicial se realizó una base de datos de estudios geotécnicos a partir del análisis de más de 1400 sondeos de longitud variable, los

que posibilitaron conocer los horizontes atravesados y las litologías reconocibles en función de la Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) de Casagrande (1948). Se incluyeron las densidades relativas, el número de golpes según el ensayo de penetración standard y el nivel freático.

En una segunda instancia, se elaboró una carta geológica en escala 1:25.000 del ejido urbano, en la que se separaron las formaciones aflorantes con el apoyo de la base de datos geotécnicos mencionada anteriormente (véase Figura 2).



**Fig. 2. Carta geológica de la C.A.B.A.** (Rimoldi, 2001)

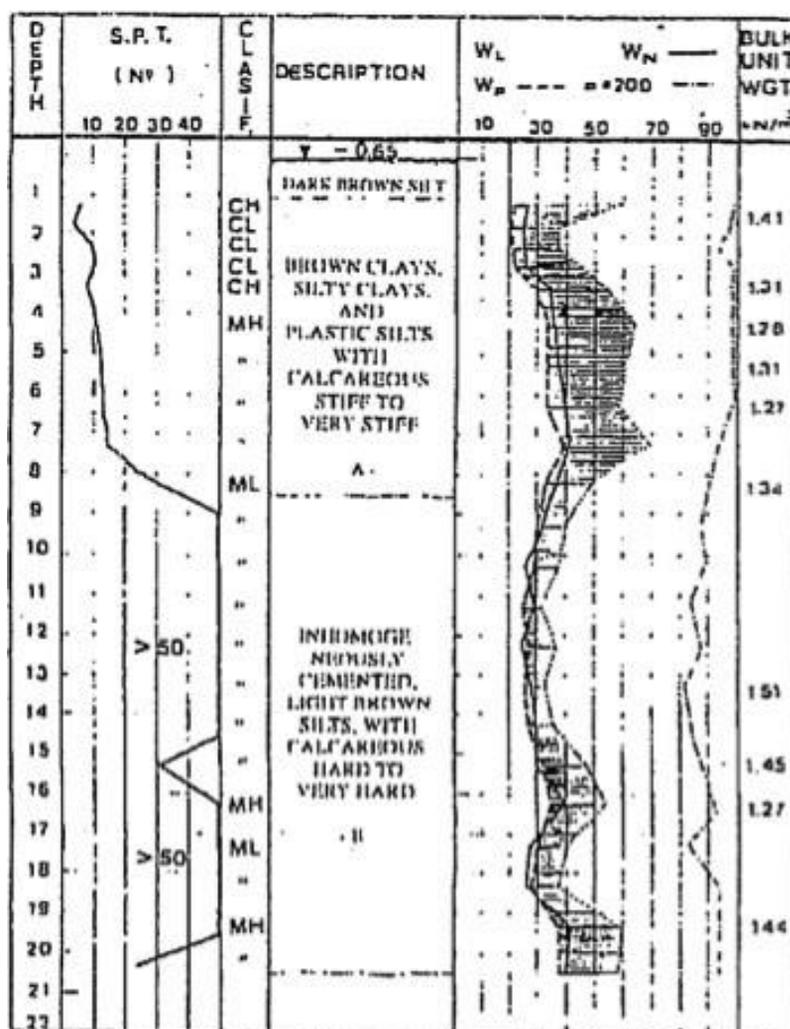
Se elaboraron ocho perfiles con la información obtenida que atraviesan la ciudad en distintas direcciones y constituyen un documento objetivo, ya que incorporan datos de la clasificación unificada, el número de sondeo representativo y la correlación entre unidades geotécnicas y formaciones geológicas.

Se representaron también diferentes cartas temáticas, como: curvas de nivel con equidistancia 5 m y escala gráfica; nivel isofreático con equidistancia 2 m; techo del acuífero Puelches con equidistancia 5 m; áreas de crecida máxima, referida al 15 de abril de 1945 (+ 4,5 m), todas referidas al cero del Riachuelo y áreas inundables.

En el PID mencionado se trabajó en el área que

se encuentra delimitada por Avenida General Paz, Avenida Eva Perón, Avenida Lacarra, AU. Presidente H. Cámpora y la Avenida. 27 de Febrero (margen izquierda del Riachuelo). Se recopilieron estudios sobre el terreno, ensayos de laboratorio y otras documentaciones de obras públicas y privadas ya realizadas, a fin de volcar esos resultados en una base de datos.

El área objeto de esta investigación, presenta una problemática geotécnica particular: los sedimentos postpampeanos por encima de la cota de 6 m.s.n.m., son suelos limosos ML o MH con una aptitud de cimentación regular a mala, en tanto los limos inorgánicos de alta plasticidad (MH) tienen una aptitud mala a muy mala. Todos estos terrenos poseen características desfavorables para las construcciones.



**Fig. 3. Perfil tipo correspondiente a los Sedimentos Pospampeanos**  
(Núñez y Trevisán, 1997)

nes civiles, dadas las proporciones variables de arcillas expansibles y las malas condiciones de drenaje, que generan limitaciones en la construcción en excavaciones a cielo abierto, como redes cloacales, viaductos y pasos bajo nivel. En estos casos se deben emplear metodologías de sostenimiento de tipo estructural como así también tratamientos o mejoras a aplicar en los terrenos linderos.

Estos suelos, que podrían ser tipificados en una primera instancia como licuefactables bajo ciertos niveles de excitación dinámica (Seed e Idriss, 1971; Casagrande, 1975), dejan de constituir un medio adecuado para excavaciones, ya que podrían sufrir notables deformaciones y despla-

mientos relativos a consecuencia de la pérdida transitoria de su capacidad portante.

Un perfil tipo es el que se expone en la Figura 3.

Tomando como base la Carta Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires (Rimoldi, 2001), y con la adición de nuevos sondeos recopilados de distintos estudios de suelos para fundaciones, se pueden apreciar las características del suelo (ver resumen en la Tabla 1), halladas en distintos sondeos, las cuales corresponden a limos arcillosos normalmente consolidados, color gris y pardo, con predominio de los primeros de la Formación Querandí.

Sondeo N°	Ubicación	Profundidad del N.F. (m)	Profundidad ensayada (m)	Número de golpes	Tipo de suelo	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Phi	Capacidad de Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	LL	LP	IP
455	C. Alvarez y Av. Lacarra	1,10	4	-	-	-	-	1,8	-	-	-
	C. Alvarez y Av. Lacarra	1,10	5	-	-	-	-	2	-	-	-
	C. Alvarez y Av. Lacarra	1,10	8	-	-	-	-	2	-	-	-
453	Av. Escalada y Saraza	0,90	1	-	-	-	-	0,5	-	-	-
	Av. Escalada y Saraza	0,90	6	-	-	-	-	1,5	-	-	-
	Av. Escalada y Saraza	0,90	7	-	-	-	-	2	-	-	-
S1	Mozart 2300	2,05-2,40	3	10	ML	1,3	14°	-	36	26	10
	Mozart 2300	2,05-2,40	6	12	ML-CL	0,6	16°30'	-	25	20	5
	Mozart 2300	2,05-2,40	8	5	ML	0,3	9°	-	24	21	3
	Mozart 2300	2,05-2,40	11	22	ML	3,2	15°	-	35	28	7
S2	Mozart 2300	2,05-2,40	2	13	ML	1,4	12°	-	47	33	14
	Mozart 2300	2,05-2,40	5	12	ML	3,1	10°30'	-	42	31	11
	Mozart 2300	2,05-2,40	8	4	ML	0,3	9°	-	26	24	2
S3	Mozart 2300	2,05-2,40	1	13	CL	4,9	7°	-	31	22	9
	Mozart 2300	2,05-2,40	5	10	CL	4,5	6°30'	-	35	23	12
	Mozart 2300	2,05-2,40	7	7	ML-CL	0,5	12°30'	-	27	22	5
S4	Mozart 2300	2,05-2,40	2	11	ML	0,1	12°30'	-	36	26	10
	Mozart 2300	2,05-2,40	3	8	SM	0	16°30'	-	21	-	N.P.
	Mozart 2300	2,05-2,40	6	12	CL	3,7	3°	-	27	17	10
	Mozart 2300	2,05-2,40	8	24	ML-CL	2,9	13°30'	-	28	23	5
	Mozart 2300	2,05-2,40	10	22	ML	3,8	12°	-	41	29	12
S5	Mozart 2300	2,05-2,40	11	19	CL	4,7	5°	-	29	19	10
	Mozart 2300	2,05-2,40	1	14	ML	3,3	12°30'	-	33	25	8
	Mozart 2300	2,05-2,40	3	7	SM	0,2	15°	-	22	-	N.P.
	Mozart 2300	2,05-2,40	4	2	ML	0,2	8°30'	-	26	23	3
	Mozart 2300	2,05-2,40	6	10	ML-CL	2,5	10°	-	27	22	5

**Tabla 1. Parámetros medidos en suelos del Pospampeano. Los valores resaltados corresponden a suelos potencialmente licuables.**

## Relación entre las características de los suelos y su potencial de licuación

El reglamento CIRSOC 103 (INTI – CIRSOC, 2013) prevé en su capítulo 2.3.2. *Suelos que requieren evaluación específica del sitio ( $S_F$ )*, en el caso que los mismos estén sometidos a vibraciones sísmicas. Si bien no es el caso de la zona en estudio, si los métodos de sostenimiento que han sido proyectados en una excavación incluyen sistemas de hinca, se podría trazar un cierto paralelismo con las cargas no monótonas producto de la actividad sísmica.

Los siguientes suelos son considerados por el reglamento CIRSOC 103 (Ibíd.) como suelos dinámicamente inestables sujetos a una evaluación específica:

- a) Suelos vulnerables o propensos a falla, pérdida de la capacidad portante o colapso.
- b) Suelos potencialmente licuables.

- c) Arcillas altamente sensitivas, suelos colapsables débilmente cementados.
- d) Turbas o arcillas altamente orgánicas de más de 3 m de espesor.
- e) Arcillas de muy alta plasticidad con espesores mayores a 8 m e  $IP > 75$
- f) Arcillas de media o baja rigidez de espesores mayores a 15 m.
- g) Suelos expuestos a inestabilidad de taludes, laderas o terraplenes.

También se prevén en el reglamento mencionado seis categorías de suelos, basadas en la velocidad media de la onda de corte  $V_{sm}$  o su correlación con el ensayo de penetración normalizado (SPT) o la tensión admisible, y más actualmente (año 2013) la resistencia al corte no drenada.

En la Tabla 2 se transcribe la correlación de estos parámetros según el reglamento.

Tipo espectral	Sitio	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO		
			Velocidad media de la onda de corte, $V_{sm}$ (m/s)	Nº de golpes medio del ensayo de penetración normalizado $N_m$	Resistencia media al corte no drenado $S_{um}$ (kPa)
Tipo 1	<b>S<sub>A</sub></b>	Formación de roca dura, con presencia superficial y escasa meteorización.	>1500	-	-
	<b>S<sub>B</sub></b>	Formación de roca dura con pequeña capa de suelo denso y/o roca meteorizada <3m	760 a 1500	-	-
	<b>S<sub>C</sub></b>	Formación de roca blanda o meteorizada que No cumple con S <sub>A</sub> y S <sub>B</sub> . Gravas y/o arenas muy densas. Suelo cohesivo pre-consolidado, muy duro. Gravas y/o arenas de densidad media.	360 a 760	>50	>100
Tipo 2	<b>S<sub>D</sub></b>	Suelo cohesivo consistente, de baja plasticidad. Gravitas y/o arenas de baja densidad.	180 a 360	15 a 50	50 a 100
Tipo 3	<b>S<sub>E</sub></b>	Suelo cohesivo blando de baja plasticidad.	<180	<15	< 50
	<b>S<sub>F</sub></b>	Suelos dinámicamente inestables. Requieren estudios especiales.			

Tabla 2. Clasificación del sitio – Influencia del suelo, según CIRSOC 103 (2013)

Para los suelos SF: suelos granulares poco densos; suelos cohesivos blandos o semiduros (cohesión menor que  $0,05 \text{ MN/m}^2$ ); suelos colapsibles, los valores son:

- Velocidad de propagación de ondas de corte:  $< 100 \text{ m/s}$
- Prueba de penetración normalizada S.P.T.: N° de golpes  $< 10$
- Tensión admisible del suelo:  $\sigma_{adm} < 0,1 \text{ MN/m}^2$

Por otra parte, González de Vallejo *et al.* (2002), define ciertas condiciones que debe reunir un suelo, para ser considerado como potencialmente licuefactable:

- Grado de saturación del 100%
- Diámetro medio  $D_{50}$  entre 0,05 y 1,00 m
- Coeficiente de uniformidad  $C_u$ :  $D_{60}/D_{10} < 15$
- Contenido de finos inferior al 10%
- Bajo grado de compactación, es decir  $N < 10$  para profundidades  $< 10 \text{ m}$  y  $N < 20$  para profundidades  $> 10 \text{ m}$ .

Además, resalta que:

- Por debajo de los 15 m de profundidad no se han observado licuefacciones.

En la mayoría de los casos en los que se producen licuefacciones, el nivel freático se encontraba a una profundidad menor a 3 m, y por debajo de 5 m la susceptibilidad de licuefacción es muy baja.

## Discusión

Realizando un análisis detallado de los datos obtenidos, es posible notar en algunos casos características compatibles con suelos que podrían ser considerados como dinámicamente inestables.

En los sondeos realizados en la calle Mozart al 2300, se observan niveles de suelos a distintas profundidades con un número de golpes menor o igual a 10, junto con una profundidad del nivel freático menor a 3 m. Tanto el reglamento CIRSOC como González de Vallejo *et al.* (Ibíd.), remarcan ante estas condiciones, la presencia de suelos dinámicamente inestables, recomendando la realización de estudios especiales.

También en el sondeo de Av. Escalada y Saraza, a una profundidad de 1 m, se observa un suelo

con una capacidad portante menor a  $0,1 \text{ MN/m}^2$  y un nivel freático de 0,90 m. Nuevamente el CIRSOC recomienda en este caso la realización de estudios especiales.

## Conclusiones

A partir de los estudios efectuados, ha sido posible detectar indicios de la presencia de suelos potencialmente licuables en la zona bajo estudio. Sin embargo, considerando la cantidad de sondeos disponibles para el análisis, no es posible *a priori* hacer extensivas estas características a todos los suelos de la zona, siendo recomendable continuar profundizando los estudios a fin de arribar a conclusiones generales y establecer recomendaciones respecto del sistema de sostenimiento de estos suelos.

## Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Facultad Regional Buenos de la Universidad Tecnológica Nacional y al Departamento de Ingeniería Civil de la misma, quienes nos han facilitado la concreción de esta labor.

También en honor a la memoria del Dr. Horacio V. Rimoldi (1925 – 2005), querido amigo y pionero en estas investigaciones acerca del subsuelo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, como asimismo de todo nuestro país.

## Referencias

- AUGE, M. (2004). Hidrogeología de la Ciudad de Buenos Aires. Cátedra Hidrogeología, Dpto. Cs. Geológicas, Fac. de Cs. Exactas y Naturales, UBA.
- CASAGRANDE, A. (1948). Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions 113, 901.
- CASAGRANDE, A. (1975). Liquefaction and cyclic deformation of sands: A critical review. 5º Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 79. Sociedad Argentina de Geotecnia.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid, Pearson Educación.
- INPRES-CIRSOC (2013). Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes. Parte I: Construcciones en general. Instituto Nacional de Prevención Sísmica - Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Ed. Julio 2013.
- PID UTN (2012). Interacción de las Construcciones con las Condiciones Geotécnicas. Base de Datos para la Ampliación de la Carta Geotécnica del Sudoeste de la C.A.B.A (2011 - 2012).
- NÚÑEZ, E. y TREVISÁN S. J. (1997). How to continue La Plata City Cathedral. Geotechnical Approach. Rotterdam, Balkema.
- RIMOLDI, H. V. (2001). Carta Geológico-Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires. Servicio Geológico Minero Argentino.
- SEED, H. e IDRIS, M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potencial. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(9), 1249.