



Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente • N.º 51 • 2024 • ISSN 2422-5703 • <https://www.editoriasagai.org.ar/>
Madsen L., Di Martino C., Pizzorno L. y Arias P.
Geotecnia de los suelos en el sector sureste de la ciudad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Estudios preliminares
e015, <https://doi.org/10.59069/24225703e015>

Geotecnia de los suelos en el sector sureste de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Estudios preliminares

Geotechnics of soils in the southeastern sector of the city of Bahía Blanca, province of Buenos Aires. Preliminary studies

Lenís Madsen^{1,2*} Claudina Di Martino^{1,2,3}
 Luciano Pizzorno⁴ Patricia Arias²

*Contacto

Recibido: 7 de agosto de 2023 ▪ Aceptado: 8 de marzo de 2024 ▪ Publicado: 27 de marzo

Resumen

La ciudad de Bahía Blanca, ubicada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, sostiene desde hace varias décadas un fuerte proceso de expansión territorial hacia sectores periféricos urbanos. El uso de las tierras en el este y sudeste de la ciudad, se manifiesta actualmente como un elemento importante en la estructura urbana, en ocasiones sin un adecuado estudio geotécnico para estudiar su respuesta ante las cargas que puedan soportar cuando son utilizados como soporte físico de estructuras ingenieriles. Con el objetivo de caracterizar y clasificar los suelos de las unidades aflorantes y del subsuelo del sector, se realizaron ensayos normalizados in situ: resistencia a la penetración para estimar la compacidad del suelo en estado natural y densidad del suelo in situ por el método de cono de arena. En laboratorio se aplicó método de determinación de la granulometría mediante tamizado por vía húmeda y se determinaron los límites de Atterberg. En función a los parámetros establecidos se realizó la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS). Los estudios preliminares realizados permitieron definir que, en el área de estudio los suelos varían en profundidad desde suelos finos, arcillas de plasticidad media a alta y limos de baja plasticidad, que gradan a arenas arcillosas / arenas limosas. Los suelos estudiados están constituidos principalmente por: suelos tipo CH y CI en superficie que gradan a SC y SM.

Palabras clave: caracterización geotécnica - ensayos normalizados - clasificación de suelos.

Abstract

The city of Bahía Blanca, located in the southwest of

1 Centro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional del Sur.

2 Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur.

3 Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca.

4 Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.

the province of Buenos Aires, has sustained for several decades a strong process of territorial expansion towards urban peripheral sectors. The use of land in the east and southeast of the city is currently manifested as an important element in the urban structure, sometimes without an adequate geotechnical study to know their response to the loads they can bear when used as physical support for engineering structures. With the aim of characterizing and classifying the soils of the outcropping and subsoil units of the sector, standardized in situ tests were carried out: resistance to penetration to estimate the compactness of the soil in its natural state and density of the soil in situ by the cone of sand method. In the laboratory, the granulometry determination method was applied by wet sieving and the Atterberg limits were determined. Based on the established parameters, the Unified Soil Classification System (USCS) was carried out. The preliminary studies carried out allowed us to define that, in the study area, the soils vary in depth from fine soils, clays of medium to high plasticity and silts of low plasticity, which grade to clayey sands / silty sands. The soils studied are mainly made up of: soils type CH and CI on the surface that grade to SC and.

Keywords: geotechnical characterization - standardized tests - soil classification.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bahía Blanca sostuvo en las últimas décadas, un proceso de expansión de la superficie urbana de modo disperso y en baja densidad, esto conlleva un crecimiento urbano y ocupación de los suelos inestables, condiciones geológicas adversas o bajo amenaza de riesgos geológicos (Urriza 2018). Por tal motivo el estudio de las variaciones espaciales que sufren los suelos, en función a su comportamiento geomecánico, con vistas a su utilización como soporte físico de distintas obras de infraestructura, es de vital importancia y ha sido materia de numerosos trabajos (Dai et al. 2001, Gómez Delgado y Tarantola 2006, entre otros).

Zinger y Del Pozo (1990) definieron en función a las condiciones del medio natural, para la expansión urbana, que la zona norte y noroeste de la ciudad es la más apta mientras los sectores ubicados al este presentan un nivel de aptitud media, requiriendo un control del drenaje superficial. Por su parte, el área sur y sudoeste, resultan las menos apropiadas para la urbanización puesto que los terrenos son bajos, sin pendiente natural y la capa freática se encuentra muy cercana a la superficie. En el área del estudio se verifican variaciones significativas en los perfiles sedimentarios y en sus características litológicas e hidráulicas que condicionan su respuesta mecánica o geotécnica (Di Martino et al. 2022). Los autores sostienen que las variaciones litológicas-granulométricas y del contenido de humedad de los materiales, determinan la compacidad y resistencia del terreno, lo cual resulta indispensable para planificar fundaciones o estructuras adecuadas en cuanto a estabilidad y soporte. Por su parte Caló y colaboradores (2000) analizaron sobre el área urbana, las características geotécnicas asociadas a la resistencia a la penetración y su distribución dentro de las unidades ambientales.

El objetivo del presente trabajo es la caracterización preliminar mediante ensayos in situ y de laboratorio para definir las propiedades físicas y mecánicas de las unidades aflorantes y del subsuelo, en el sector sur este de la ciudad de Bahía Blanca con base en la geología y geomorfología del área.

ÁREA DE ESTUDIO

Bahía Blanca se ubica en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires entre los 38° 44' Latitud Sur y 62° 16' Longitud Oeste. La ciudad, se extiende a lo largo de unos 16 km desde la peniplanicie pedemontana de las Sierras Australes al norte hasta la zona costera, representado por la localidad de Ingeniero White, al sur.

La zona de estudio comprende la región sur y sudoeste de la ciudad, a unos 5 km aproximadamente del núcleo urbano (Figura 1). En el sector se han establecido nuevos asentamientos sin evaluar las condiciones del terreno, es decir los parámetros geológicos (la litología, la estratigrafía, geomorfología, y los aspectos hidrogeológicos), los cuales condicionaran el comportamiento ingenieril de los materiales. Por tal motivo y en vistas a una expansión territorial en constante avance sobre dicho sector, se seleccionaron dos áreas en cercanías a viviendas ya establecidas para evitar futuros problemas en obras civiles y establecer pautas de ordenamiento territorial.

GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTECNIA GENERAL DEL ÁREA

Las características del suelo de la región están estrechamente vinculadas a la geomorfología del terreno. Caló y colaboradores (1999) definieron la carta de unidades geoambientales que establece la relación entre las unidades geomorfológicas y las formaciones sedimentarias para el área de Bahía Blanca (Figura 1). El basamento del área de estudio aflora al norte de la región y está constituido por los denominados "sedimentos pampeanos" (Fidalgo et. al, 1975), representados por la peniplanicie desde la cota de 60 a los 100 metros con amplia distribución regional y espesor considerable. Son sedimentos loessoides con depósitos de calcreto (tosca), del Plioceno medio a superior.

La parte terminal de la planicie se continúa con una zona de faldeo ente las cotas 20 y 60 metros, constituida por el complejo coluvio-aluvio y conos aluviales coalescentes. Se extiende a lo largo de 12 km en dirección NO-SE, con un ancho de aproximadamente 2 km (Caló et al 1997). Ambas geo-

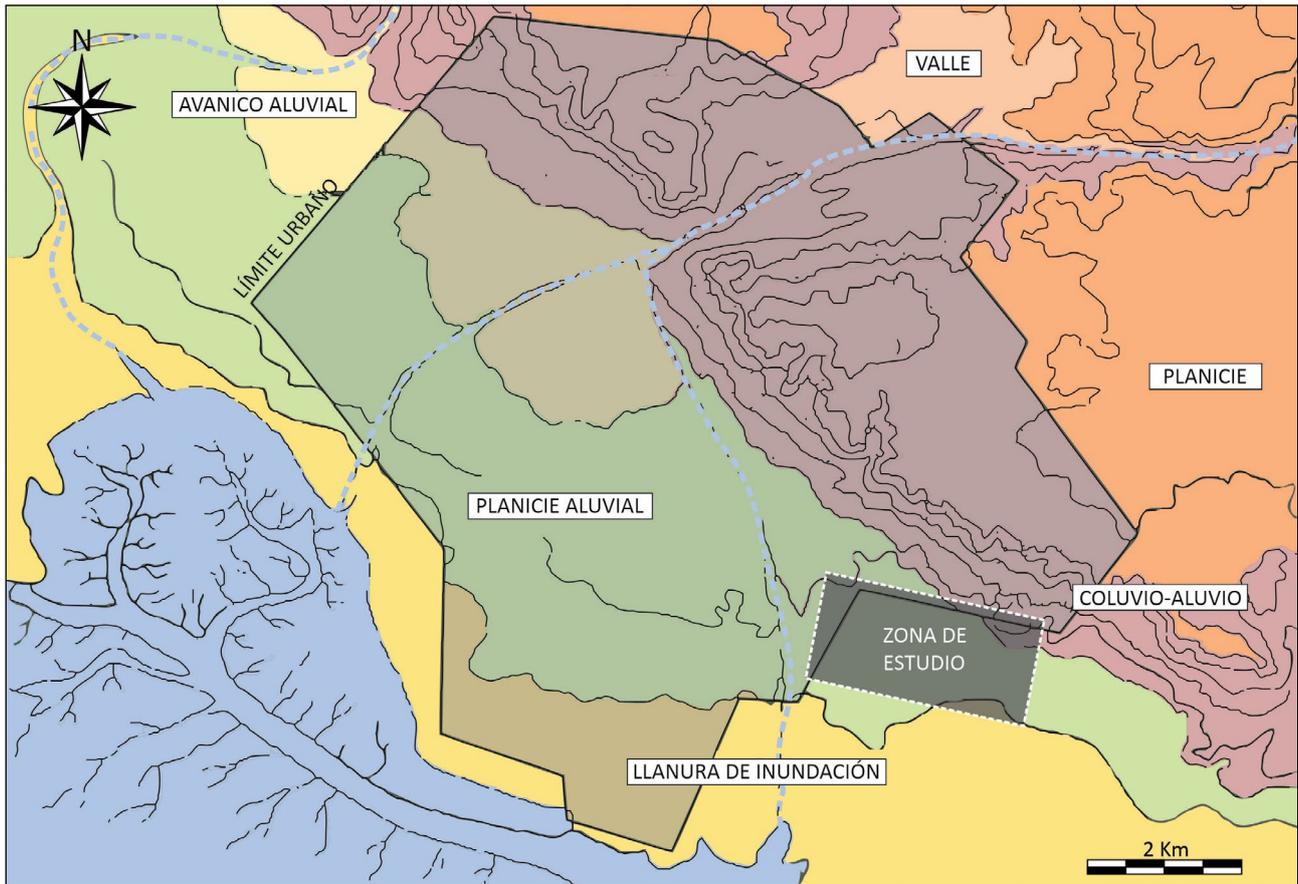


Figura 1: Mapa de unidades geoambientales (Caló et al 1999).

formas pertenecen a la Fm. Bahía Blanca (González, 1984). La primera representada por depósitos eólicos limosos y arenosos con abundante matriz arcillosa, tosca neógena y rodados de tosca recementada, pertenecientes al pedemonte. El cono aluvial presenta sedimentos arenosos, limosos, gravas cuarcíticas y en parte tosca recementada.

Hacia el Sur, por debajo de la cota 20 se presenta la planicie aluvial que continúa hacia el sureste con la llanura de marea emergida (cota por debajo de los 10 metros) correspondiente a la Fm. Maldonado (Fidalgo, 1983). Son sedimentos arenosos de tamaño fino con restos de conchillas en la base que gradan hacia el techo a limos arenosos y limos arcillosos, con porcentajes variables de smectitas definidos con una asociación típica: montmorillonita-illita (Fidalgo, 1983).

Desde el punto de vista geotécnico (Caló et al 2000) los suelos de la Fm. Pampiano tienen valores de ensayos de penetración estándar (SPT) que superan generalmente los 40 golpes.

Para la Fm. Bahía Blanca del cono aluvial se registran valores que varían entre 30 y 50, con valores mínimos próximos a los 20 golpes. Mientras que los ensayos realizados sobre los suelos del coluvio-aluvio varía entre 20 y 30 en la mayoría de los casos. Son suelos poco densos tipo colapsables y debido a su poca consolidación pierden su estructura granular por saturación (Aldacour et al 1997).

La parte superior del perfil del suelo de la Fm. Maldonado está caracterizada por un bajo número de golpes en el ensayo, que oscilan entre 0 y 15, alcanzando en profundidad valores de entre 20 y 35 golpes. Son suelos expansivos, asociados a la variación del nivel freático como consecuencia de los cambios en las condiciones meteorológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En función al análisis de antecedentes y reconocimiento de campo se trazaron dos perfiles paralelos en sentido noreste-suroeste, ubicados a 2,5 km aproximadamente uno respecto al otro para verificar variaciones laterales en el área, en función a la carta de unidades geoambientales mencionada anteriormente.

La transecta A-A' cuenta con una extensión de 3 km y 3 puntos de muestreo, mientras que la transecta B-B', dado a las condiciones del terreno, abarca un largo de 500 m y 2 puntos de muestreo (Figura 2). En cada uno de los puntos mencionados se trabajó con métodos de ensayo normalizados de campo para definir: densidad del suelo (ASTM D-1556, Método de determinación in situ para la densidad y el peso unitario del suelo mediante cono de arena) y resistencia a la penetración para estimar la compacidad del suelo en estado natural (IRAM 10540, Determinación del índice de penetración mediante el penetrómetro dinámico de cono, PDC). La

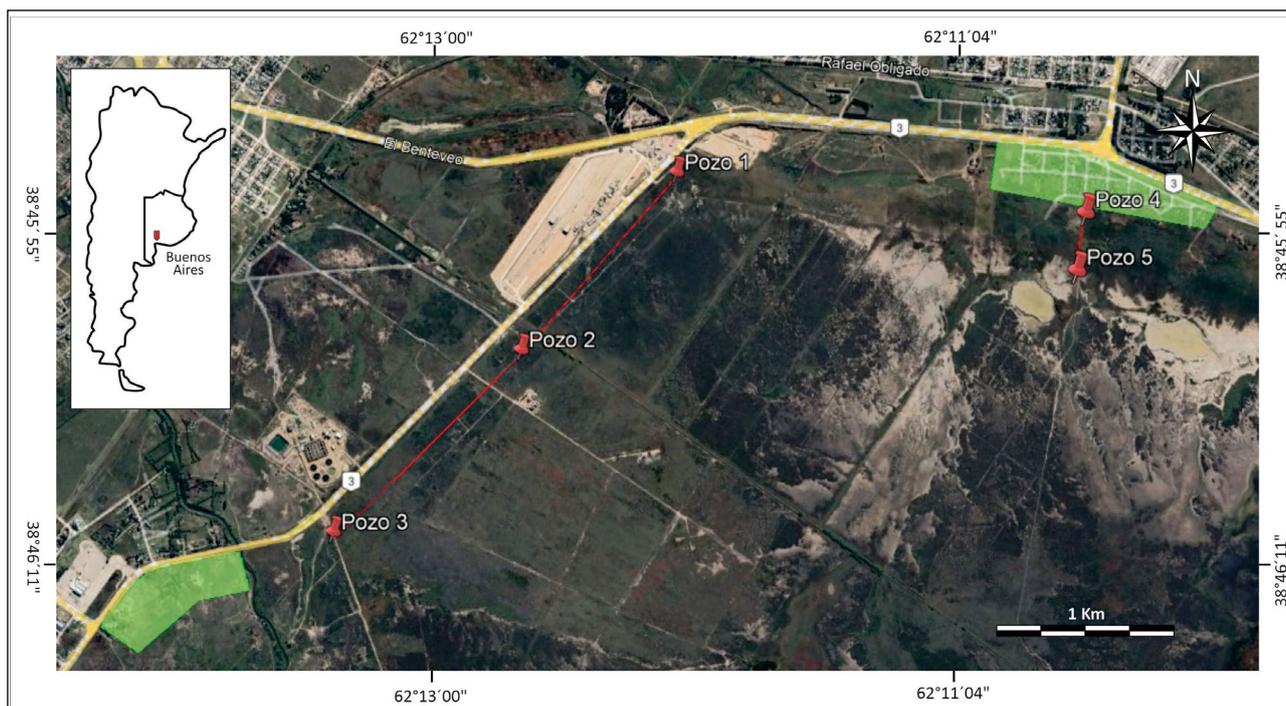


Figura 2: Mapa de ubicación del área de estudio y puntos de muestreo. Se destacan zonas de vivienda.

ejecución este último, determino la competencia del terreno definiendo la variación de los suelos en profundidad, a partir del cual se realizó el muestreo de subsuelo, mediante pala helix hasta alcanzar en algunos sectores profundidades máximas de 2m.

Para la transecta A-A', en el punto 1 se tomaron las muestras: P1M0 - P1M1 - P1M2, en el punto 2: P2M0 - P2M1 y en el punto 3 las muestras: P3M0 - P3M1 - P3M2.

Mientras que sobre el perfil B-B' se registró el punto 4: P4M0 - P4M1 y el punto 5: P5M0 - P5M1.

Sobre las muestras de superficie (M0), se determinó la densidad del suelo in situ por el método de cono de arena respetando la norma VN - E8 - 66 (1966). Tomando como condiciones de borde los resultados obtenidos se moldearon las probetas utilizando material de la capa superficial para determinar la resistencia al corte directo con aplicación de esfuerzo normal consolidado drenado (CD) (IRAM 10534, 1986). Paralelamente se realizó la determinación mineralógica mediante Difracción de Rayos X (DRX): Se utilizó un difractor Rigaku D-Max III-C (a 35 kV y 15 mA con radiación de $\text{Cu K}\alpha_{1,2}$, $\lambda = 1,541840 \text{ \AA}$, filtrada con monocromador de grafito en el haz difractado) del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur.

Para la caracterización de los perfiles de suelos se llevaron a cabo los ensayos normalizados que se mencionan a continuación. Los mismos se desarrollaron en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur.

- Ensayos estándares:
 - IRAM 10519. Humedad natural.

- IRAM 10507. Método de determinación de la granulometría mediante tamizado por vía húmeda.

- IRAM 10501. Métodos de determinación del límite líquido y del índice de fluidez.

- IRAM 10502. Método de determinación del límite plástico e índice de plasticidad.

- AASHTO D854-92. Métodos de prueba estándar para Gravedad específica.

- IRAM 10509. Clasificación de suelos, con propósitos ingenieriles (según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tareas de campo

Del análisis de las tareas de campo, se presentan en la Figura 3 los resultados de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados (curva PDC), hasta una profundidad máxima de 2 metros. En cada una se señala la profundidad a la cual se realizó la toma de muestras (MX) en función a la variación del número de golpes como respuesta a la resistencia del suelo, la presencia del nivel freático (NF) y el índice PDC.

Como puede observarse en el pozo 1 y 2 se reconocen tres capas y la variación en profundidad para ambos perfiles presenta el mismo patrón. Sobre el pozo 3 se definieron solo dos capas, la más somera con un índice PDC intermedio, comparable con los perfiles anteriores, mientras que en la capa más profunda este valor aumenta significativamente. El

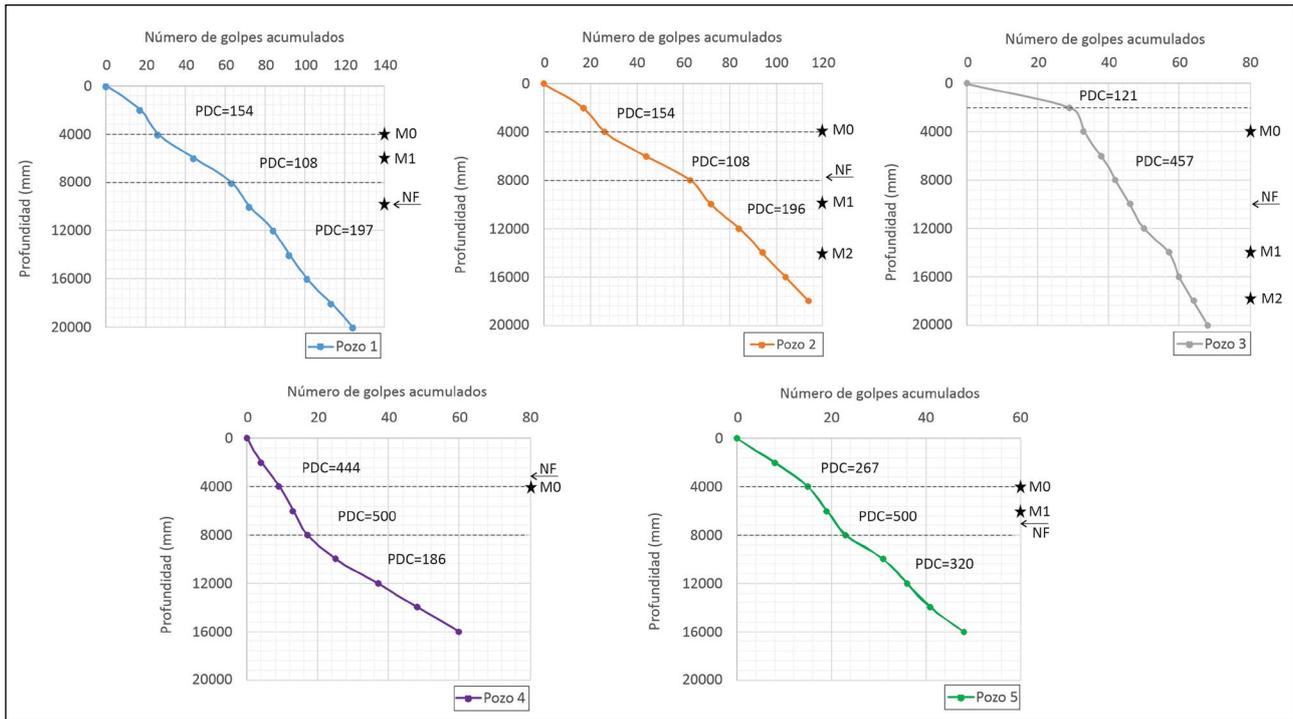


Figura 3: Curva PDC. Penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. Se destaca la profundidad de muestreo (estrella negra). NF: nivel freático.

valor de la pendiente se traduce en que mientras más vertical sea el gradiente, menor será la resistencia del suelo.

En los pozos 4 y 5, definidos sobre la transecta B-B' se reconocen tres capas siendo la intermedia correlacionable en función al índice PDC.

Los resultados del PDC pueden correlacionarse con algunas propiedades mecánicas de los suelos como la consistencia del suelo, densidad relativa y SPT, basada en resulta-

dos presentados por Brink et al. (1982). Las relaciones de los valores obtenidos para los suelos arcillosos clasificados según los parámetros obtenidos en este trabajo, corresponden a materiales suaves a muy suaves, de cohesión mayormente <18 KPa y con valores de SPT saturado (golpes/300mm) N <2.

Para el caso de los suelos definidos como arenosos, se describen como materiales muy sueltos, con una densidad relativa de Burmister de 0-40% y valores de SPT saturado (golpes/300mm) N < 4, lo cual es coherente con los resulta-

Tabla 1. Resumen de resultados - Ensayos de laboratorio

	MUESTRA	humedad natural (%)	Peso específico (gr/cm³)	Densidad seca (gr/cm³)	Granulometría (%)		Límites		IP	Grupo SUCS
					>N°4	>N°200	LL	LP		
PERFIL A-A	P1M0	37,4	2,52	1,71	30	70	56	23	33	CH
	P1M1	-	-	-	51	49	28	22	6	SC
	P1M2	-	-	-	70	30	29	21	8	SC
	P2M0	30,4	2,64	1,59	32	68	Sin LL	ND	0	ML
	P2M1	-	-	-	92	8	31	24	7	SM
	P3M0	20,9	2,50	1,54	34	66	43	22	21	CL
	P3M1	-	-	-	42	58	48	20	28	CL
	P3M2	-	-	-	56	45	Sin LL	ND	0	SM
PERFIL B-B	P4M0	51,2	*	*	47	53	40	33	7	ML
	P4M1	-	-	-	34	62	25	ND	25	CL
	P5M0	38,1	2,67	1,57	34	63	26	24	2	ML
	P5M1	-	-	-	52	48	25	ND	25	SC

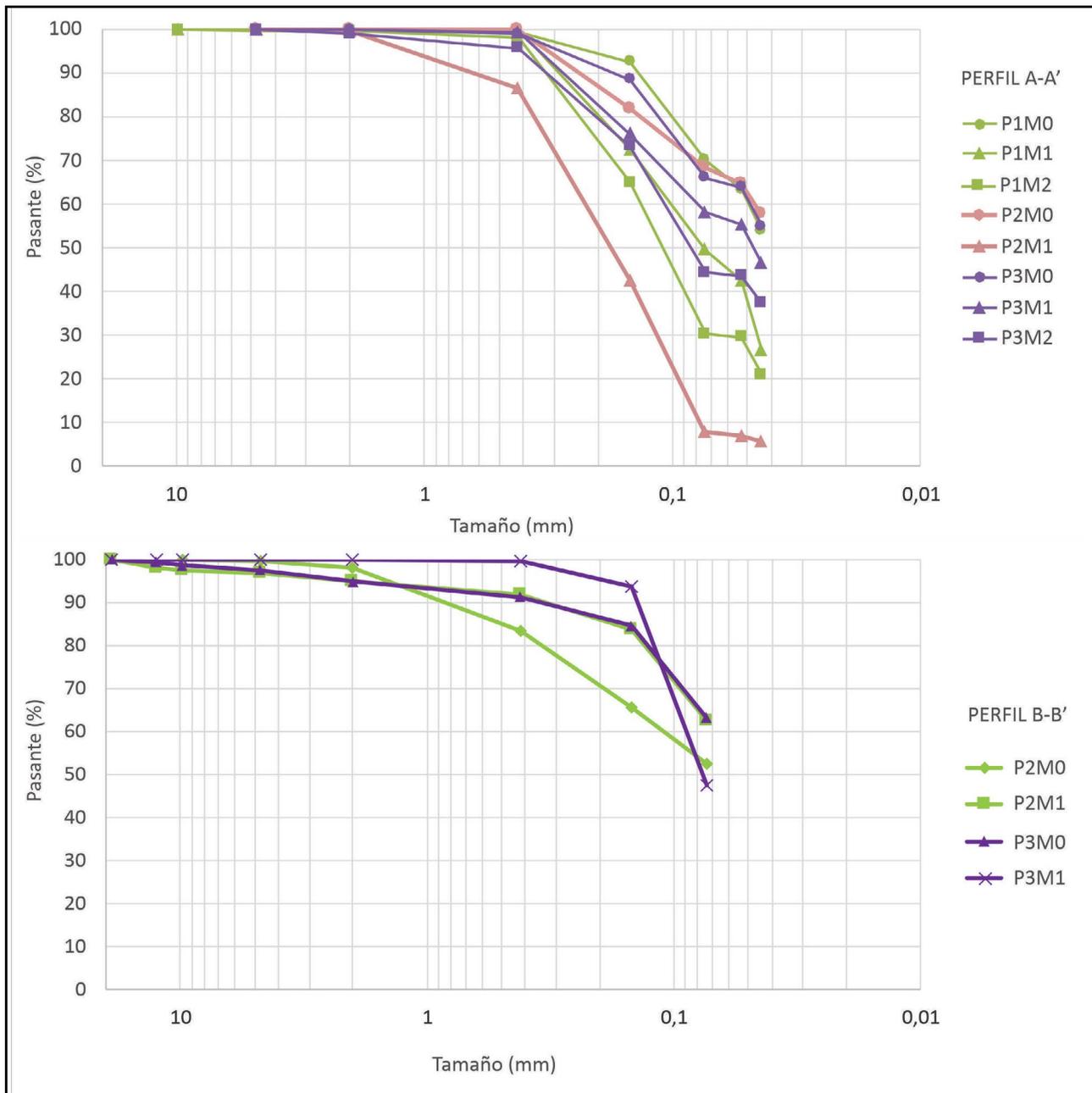


Figura 4: Curvas de distribución granulométrica.

dos obtenidos ya que se trata de materiales areno-limosos/ areno-arcillosos.

Tareas de laboratorio

Se realizó el tamizado por vía húmeda siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 10507 (1968). En la Figura 4 se observan las curvas de distribución granulométrica analizadas. Los perfiles se caracterizan por suelos arcillosos, arcillo limosos y limosos con contenidos de finos variables entre el 70 % al 65 % y 30 % a 35% para arenas, que pasan transicionalmente a arenas arcillosas - limosas con contenidos del 90 % al 50% y 10% al 50% para arenas y finos corres-

pondientemente.

En la Tabla 1 se observa la clasificación de los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS (IRAM 10509). Los suelos finos fueron clasificados mediante la carta de plasticidad de Casagrande, en función a la relación entre el límite líquido e índice de plasticidad, para poder obtener el símbolo y nombre del grupo

Como se puede observar el perfil en A-A', Pozo 1 se caracteriza por suelos finos arcillosos de alta plasticidad (LL>50%) que en profundidad pasan a un suelo granular, arena arcillosa, con importante reducción de la plasticidad (LL<30%). Cabe destacar que suelos como P1M0 con LL >50% admitirán mucha agua y podrían experimentar deformacio-

nes plásticas importantes. El Pozo 2 se caracteriza por suelos finos limosos de baja plasticidad que en profundidad pasan a un suelo granular areno limoso /arcillo arenoso de media plasticidad. Por último, el Pozo 3 se caracteriza por suelos finos arcillosos arenosos de plasticidad media que en profundidad pasan a suelos granulares areno limosos. Los suelos estudiados de la transecta B-B' son principalmente finos, limo arcillosos de baja plasticidad, pasando a arcillas inorgánicas de baja plasticidad y a arenas arcillosas en el pozo 4 y 5 correspondientemente.

Mediante DRX se determinó la mineralogía de los suelos con el fin de identificar el tipo de arcillas que componen las muestras superficiales. En todos los suelos se corrobora una asociación mineral típica de: cuarzo, feldespato, calcita e illita/muscovita como componentes mayoritarios. El primero presenta reflexiones típicas en 3,34 Å, 4,25 Å, 2,55 Å y 1,81 Å, entre otros. El feldespato muestra su pico máximo en 3,19 Å y otros menores en 3,77 Å y 6,34 Å, mientras que la calcita presenta en 3,03 Å, 2,28 Å y 1,90 Å, entre otros. Reflexiones en 9,8 Å y 5,3 Å que indican la presencia de Illita/muscovita (001= 10 Å; 002= 5 Å).

Se identificó también clorita como fase discreta (001= 14 Å; 002= 7,1 Å; 004= 3,54 Å). Por último, se observan reflexiones en torno a los 15 Å (001), 8,5 Å (002), 5,6 Å (003) y 4,2 Å (004) evidenciando la presencia de arcillas de Grupo de las esmectitas, las cuales tienen la capacidad de variar su volumen en presencia de humedad, provocando la contracción y/o expansión del terreno.

Tabla 2: Valores de ensayo de corte directo (CD)

Muestra	σ (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)	ϕ Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kg/cm ²)	Densidad seca (g/cm ³)	Humedad (%)
P1M0	0,514	0,70	46,1	0,16	1,71	17,7
	1,014	1,20				
	2,069	2,31				
P2M0	0,514	0,61	22	0,39	1,58	20,4
	1,014	0,77				
	2,069	1,23				
P3M0	0,514	0,38	42,4	0	1,52	20,9
	1,014	0,91				
	2,069	1,82				
P4M0	-	-	-	-	-	-
	0,514	0,51				
	1,014	0,94				
P5M0	0,514	0,51	40,4	0	1,47	20,1
	1,014	0,94				
	2,069	1,83				

Sobre las muestras M0 se realizaron los ensayos de corte directo (CD). En la Tabla 2 se muestran los valores de esfuerzos normales utilizados en cada prueba, los esfuerzos cortantes de falla en cada muestra, el ángulo de fricción interna y la cohesión estimada. Las muestras fueron reconformadas tratando de emular las condiciones de campo en función a la densidad seca obtenida mediante el ensayo de cono de arena VN – E8 – 66. En el caso de la muestra P4M0 no fue posible realizar la determinación de densidad in situ, motivo por el cual no se pueden simular las condiciones de borde que nos permitan simular en laboratorio, las condiciones de campo para remodelar las probetas.

En función de la clasificación obtenida para cada suelo ensayado en corte directo, (CH, ML, CL) y basándonos en valores característicos de cohesión que deberían presentar estos materiales (Meyerhof (1956); Hough (1957); Peck et al. (1974); entre otros), se da una gran dispersión con los resultados obtenidos, considerándose puede deberse a la conformación remodelada de las probetas bajo estudio, quedando para una próxima etapa de ensayos la toma de testigos sin disturbar con el fin de poder corroborar estos valores. Por cuestiones de logística y tiempo esta comprobación no pudo ser realizada para esta presentación preliminar.

CONCLUSIONES

- Los perfiles analizados varían en profundidad desde suelos finos, arcillas de plasticidad media a alta y limos de baja plasticidad, que gradan a arenas arcillosas / arenas limosas. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) los suelos estudiado están constituidos principalmente por: suelos tipo CH y CI en superficie que gradan a SC y SM.

- La determinación mineralógica mediante difracción de rayos X, permitió identificar cuarzo, feldespato, Illita, esmectitas y cloritas como componentes principales de los suelos analizados. La determinación del tipo de arcillas es uno de los parámetros más relevantes definidos para el medio físico en el área de estudio, ya que las mismas (Grupo de las esmectitas) pueden varían su volumen en presencia de humedad, provocando la contracción y expansión del terreno.

- La presencia del acuífero libre a escasa profundidad influye directamente en la estabilidad de las cimentaciones superficiales, dando lugar a asentamientos diferenciales de las estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente (Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires - Universidad Nacional del Sur), al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur, y al Laboratorio de suelos del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur por el apoyo brindado.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Todos los autores contribuyeron a la concepción y el diseño del estudio. La preparación del material, la recopilación y el análisis de datos fueron realizados por Lenís Madsen, Claudina Di Martino, Luciano Pizzorno y Patricia Arias. El primer borrador del manuscrito fue escrito por Lenís Madsen y todos los autores comentaron las versiones ante-

rios del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existe algún conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO D854 (1992). *Métodos de prueba estándar para Gravedad específica de los sólidos del suelo por picnómetro de agua*. American Association of State and Highway Transportation Officials.
- Aldacour, H., Marcos, A., Caló, J., y Fernández, E. (1997). Riesgo geológico ambiental debido a sedimentos colapsables. *Resúmenes 1er Taller sobre Sedimentología y Medio Ambiente, Asociación Argentina de Sedimentología, Buenos Aires* (1), 27-28.
- ASTM-D1556-15 (2008). *Standard test method for density and unit weight of soil in place by sand-cone method*. American Society for Testing and Materials.
- Brink, A.B.A., Partridge, T.C., y Williams, A.A.B. (1982). *Soil survey for engineering*. British L, London. 378 p.
- Caló, J., Fernández, E., Marcos, A., y Aldacour, H. (1997). Los sedimentos recientes y su relación con la geología ambiental urbana de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Memoria del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Venezuela*. (1), 137-143.
- Caló, J., Fernández, E., Marcos, A., y Aldacour, H. (1999). Construcción de mapas geológicos ingenieriles a partir de conocimientos previos compilados en un Sistema de Información Geográfico. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* (13), 1-10.
- Caló, J., Fernández, E., Marcos, A., y Aldacour, H. (2000). Mapas temáticos de la ciudad de Bahía Blanca y problemas edilicios asociados. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* (15), 30-40.
- Dai, F.C., Lee, C.F. y Zhang, X.H. (2001). GISbased geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology* (61), 257–271.
- Di Martino, C., Albouy, R. y Aliotta, S. (2022). Evaluación geotécnica preliminar de las unidades geológicas del frente costero portuario de Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* (48), 15–21.
- Fidalgo, F., De Francesco, F.O. y Pascual, R. (1975). Geología superficial de la llanura bonaerense. *Relatorio VI congreso Geológico Argentino* (pp. 103-138).
- Fidalgo, F. (1983). Algunas características de los sedimentos superficiales de la cuenca del Río Salado y en la Pampa Ondulada. *Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional Programa Hidrológico Internacional, Olavarría, Argentina* (2), 1043-1067.
- Gómez-Delgado, M. y Tarantola, S. (2006). GLOBAL sensitivity analysis, GIS and multicriteria evaluation for a sustainable planning of a hazardous waste disposal site in Spain. *International Journal of Geographical Information Science* 20(4), 449-466. <https://doi.org/10.1080/13658810600607709>.
- González, M. (1984). Depósitos marinos del Pleistoceno superior en Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. *Noveno Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche*. (III), 538-555.
- Hough, B.K. (1957). *Basic Soils Engineering*. Ronald Press Co.
- IRAM 10501 (1968). Mecánica de suelos. *Métodos de determinación del límite líquido y del índice de fluidez*. Instituto Argentino de Normalización.

- IRAM 10502 (1968). Mecánica de suelos. *Método de determinación del límite plástico e índice de plasticidad*. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 10507 (1986). Mecánica de suelos. *Método de determinación de la granulometría mediante tamizado por vía húmeda*. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 10509 (1982). Mecánica de suelos. *Clasificación de suelos, con propósitos ingenieriles*. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 10519 (1970). Mecánica de suelos. *Método de laboratorio para la determinación de humedad*. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 10534 (1986). Mecánica de suelos. *Método de ensayo de corte directo de suelos tipo consolidado drenado*. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 10540 (2011). Geotecnia. Determinación del índice de penetración mediante el penetrómetro dinámico de cono liviano (DCPL). Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Meyerhof, G.G. (1956). *Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division 82(1), 866-885. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000000>.
- Peck, R.B., Hanson W.E. y Thornburn T.H. (1974) *Foundation engineering*. John Wiley and Sons.
- Urriza, G. (2018). Expansión urbana en ciudades intermedias de crecimiento demográfico bajo: el caso de Bahía Blanca, Argentina. *X Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Córdoba*, (pp. 105-123) <https://doi.org/10.5821/siiu.9151>
- VN – E8 – 66. Norma De Ensayo: *Control de Compactación por el Método de la Arena*. Dirección Nacional de Vialidad.
- Zinger, A. y Del Pozo, O. (1990). Bahía Blanca: análisis de la aptitud del medio natural para la expansión urbana. *Revista Universitaria de Geografía* 4(1), 79-97.