

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE ZONAS DE RELLENO EN LA COSTA DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES: ESTUDIO PILOTO EN CIUDAD UNIVERSITARIA

Claudia Prezzi¹, Rubén López², Carlos Vásquez¹, Silvia Marcomini² y Sabrina Fazzito¹

¹CONICET – Universidad de Buenos Aires. IGEBAs, Dpto. Cs. Geológicas, FCEyN, UBA, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, 1428, Buenos Aires, Argentina.

²Universidad de Buenos Aires. IGEBAs, Dpto. Cs. Geológicas, FCEyN, UBA, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, 1428, Buenos Aires, Argentina.

prezzi@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN

La Ciudad de Buenos Aires está emplazada sobre el margen sur del estuario del Río de la Plata. Las obras de relleno modificaron totalmente la morfología original del área, desde la época de Rosas (1836) hasta la actualidad. Los cambios antrópicos en la configuración de la línea de costa generaron una gran variedad de problemas de fundación en las estructuras edilicias y obras de infraestructura a causa de la heterogeneidad de la composición de los materiales utilizados para el relleno. Debido al creciente desarrollo urbano de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el área metropolitana, resulta de sumo interés contar con información de detalle sobre las áreas de relleno en la costa del Río de la Plata. Con la finalidad de evaluar la utilidad de diferentes métodos geofísicos para caracterizar el tipo y distribución espacial de los materiales de relleno y su espesor, en este trabajo se presentan los resultados de un estudio piloto llevado a cabo en Ciudad Universitaria. Se realizaron relevamientos con Georadar (GPR), tomografías de resistividad eléctrica (TER) y perfiles magnetométricos. Pudo determinarse que las TERs y los métodos magnéticos son muy útiles para investigar las zonas de relleno, mientras que el método de GPR no sería aplicable a la zona de estudio debido a las características intrínsecas de la misma. A partir de los relevamientos realizados pudieron diferenciarse sectores geográficamente muy cercanos dentro de Ciudad Universitaria que presentarían distintos espesores y tipo de relleno. Estos resultados indican que los métodos geofísicos permitirían caracterizar las zonas de relleno a lo largo de la costa de Buenos Aires y nos alientan a continuar esta línea de trabajo.

Palabras clave. zonas de relleno artificial - geofísica aplicada - estratigrafía de depósitos antrópicos - desarrollo urbano

ABSTRACT

The coast of Buenos Aires city is located on the southern margin of La Plata river estuary. The original morphology of this area was completely changed by fill works. Such works began in 1836 and continue until today. The anthropic changes imposed on the coast line configuration generated a great variety of problems in building foundations and infrastructure works due to the heterogeneous composition of the fill materials. Considering the ongoing urban development of Buenos Aires city, the availability of detailed information about fill areas is of vital importance. With the aim of evaluating the suitability of different geophysical methods for the characterization of fill materials and their thickness and areal distribution, in this work we present the results of a pilot study performed in Ciudad Universitaria. Ground penetrating radar (GPR) surveys, electrical resistivity tomographies (ERIs) and magnetic profiles were carried out. We determined that ERIs and magnetic methods are appropriate for the research of fill zones, while GPR is not applicable in the studied area due to its intrinsic characteristics. Through our surveys we could identify different sectors in Ciudad Universitaria, which would have distinct thicknesses and nature of fill materials. These results show

that geophysical methods would allow the characterization of the fill zones along Buenos Aires city, and encourage us to continue with our investigations.

Keywords. artificial filled zones - applied geophysics - stratigraphy of anthropic deposits - urban development

INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Buenos Aires está emplazada sobre la margen sur del Río de la Plata (Figura 1). Desde 1836 hasta la actualidad las obras de relleno modificaron la morfología original de la zona. El período durante el cual fueron rellenadas las mayores áreas fue entre 1964 y 1991 (Marcomini y López, 2004) (Figura 2). Las superficies rellenadas durante este intervalo corresponden en un 80% al sector de Reserva Ecológica y Ciudad Deportiva de Boca y en un 20% al sector de Costanera Norte. En este último sector las obras fueron realizadas en forma aislada y dieron lugar a la formación de Costa Salguero, Carrasco y Ciudad Universitaria. En la Figura 3 puede observarse que en 1936 el predio ocupado actualmente por Ciudad Universitaria no existía, ya que las aguas del Río de la Plata llegaban hasta las vías del ferrocarril General Belgrano. El total de las superficies de relleno desde la configuración de la costa original a la actual fue de aproximadamente 2054 hectáreas, estimando una velocidad de 12,67 hectáreas/año durante los últimos 162 años con una progradación que varió de 400 a 1000 m dependiendo del sector costero.

Son escasos los trabajos que han analizado los cambios morfológicos costeros de la ciudad de Buenos Aires, entre ellos se destacan los efectuados por Yrigoyen (1993), Holocwan (1996) y Pereyra et al. (2001). A partir de los trabajos realizados por Marcomini y López (2004) y López y Marcomini (2004) se profundizaron los estudios sobre los impactos ambientales provocados por la acción antrópica, como así también sobre la evolución de los nuevos ecosistemas naturales que se han generado asociados a esas variaciones. Asimismo Marcomini y López (2006) analizan los riesgos geológicos más frecuentes que afectan a la Ciudad de Buenos Aires, como las inundaciones y los problemas asociados con la colmatación en su área costera.

En lo que respecta al planeamiento de la construcción de nuevos edificios, no existe información unificada sobre las características y aptitudes para la fundación en las áreas de relleno. Comúnmente se utilizan perforaciones geotécnicas, ensayos de penetración y métodos de muestreo estándar, que presentan serias limitaciones por sus condiciones puntuales. Frecuentemente, el desconocimiento de la geología e hidrogeología del sitio es responsable de fallas estructurales y ambientales y puede generar importantes costos adicionales no presupuestados originalmente (Green et al., 1999). Este es el motivo principal de la aplicación de métodos geofísicos superficiales. Las mediciones geofísicas superficiales pueden realizarse relativamente rápido y sin un costo elevado, por lo que proveen una manera de incrementar significativamente la densidad de datos (Byer y Mundell, 2004). Incluso en algunos casos, la cobertura total del sitio en estudio resulta económicamente viable. A partir de esta mayor densidad de muestreo, se elevan las probabilidades de detectar sectores anómalos, resultando en una caracterización precisa de las condiciones del subsuelo. Distintos métodos geofísicos han sido aplicados con gran éxito en el estudio con fines ambientales e ingenieriles de zonas rellenadas (e.g. Nunn, 1979; Fenning y Williams, 1997; Green et al., 1999; Adepelumi y Olorunfemi, 2000; Mundell y Byer, 2002; Byer y Mundell, 2004; Orgeira et al., 2004; Prezzi et al., 2005; Prezzi et al., 2009 a y b). A modo de ejemplo, cabe citar el trabajo de Green et al. (1999), quienes estudiaron geofísicamente un relleno sanitario en Suiza establecido sobre sedimentos arenosos y arcillosos cuaternarios. Estos

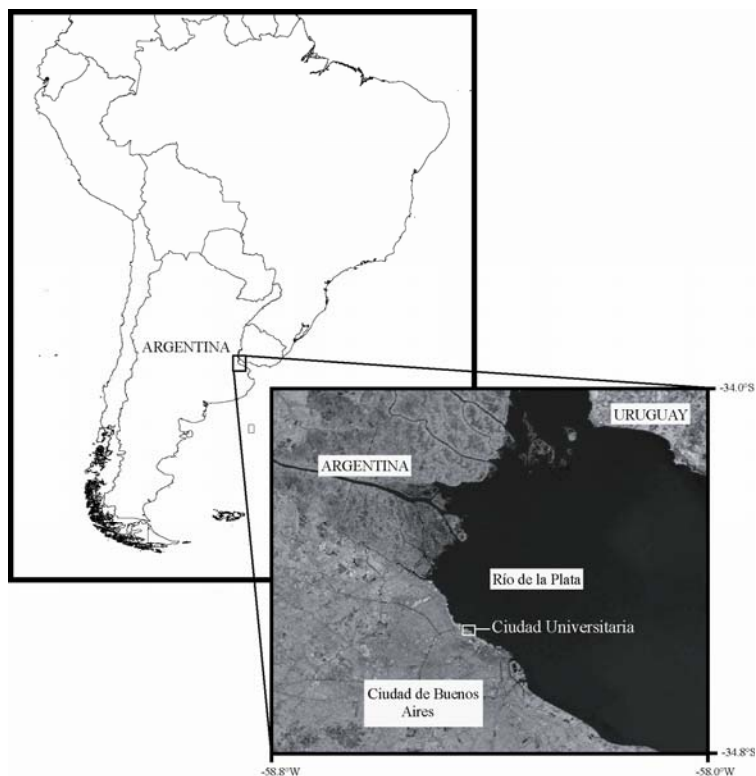


Figura 1. Mapa de ubicación de la Ciudad de Buenos Aires, el Río de la Plata y Ciudad Universitaria.

autores observaron que mientras los sedimentos naturales que alojan el relleno poseen conductividades eléctricas, susceptibilidades magnéticas y gradientes magnéticos verticales bajos a medios, a través del relleno se registraba un incremento conspicuo en los valores de todas las propiedades físicas estudiadas, pudiendo identificar los límites irregulares de los diferentes tipos de materiales de relleno. Utilizando el georadar, estos mismos autores observaron una notable reducción en la penetración de la señal al pasar del terreno natural a la zona de relleno. Esta escasa profundidad de penetración, causada por atenuación de la señal, se correlaciona con anomalías conductoras en el relleno, generando un patrón caótico de superposición e interferencia de hipérbolas de difracción. Estos autores mostraron que la interpretación integrada de distintos datos geofísicos permitió obtener una imagen tridimensional comprensiva de la zona de relleno y los sedimentos cuaternarios naturales.

Debido al creciente desarrollo urbano de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el área metropolitana, y la falta de información sistematizada sobre las características del sustrato, resulta de sumo interés contar con información de detalle sobre las áreas de relleno en la costa del Río de la Plata. La misma resulta imprescindible para futuros emprendimientos en los sectores costeros, la correcta valoración de los correspondientes impactos ambientales y para un adecuado planeamiento urbano.

Considerando todo lo expuesto anteriormente, en este trabajo se ha realizado un estudio piloto en la zona de Ciudad Universitaria (Figura 1) con la finalidad de evaluar la utilidad de diferentes métodos geofísicos para definir aspectos de los rellenos en función de las



Figura 2. Línea de costa a lo largo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en 1836 (Línea de costa natural), en 1964 (Línea de costa artificial) y en la actualidad. Modificado de Marcomini y López (2004).

características intrínsecas de la región a investigar y de determinar su potencial para proveer diferente información en la zona urbana fuertemente antropizada de Buenos Aires (donde es esperable la existencia de un elevado nivel de ruido e interferencia). Se llevaron a cabo perfiles magnetométricos, transectas con Georadar (GPR) y tomografías de resistividad eléctrica (TER). A través de la aplicación de dichos métodos se intentó caracterizar el tipo, grado de homogeneidad, espesor y distribución espacial de los materiales de relleno en la zona de este estudio piloto (Figura 1). Fundamentalmente, se trató de diferenciar sectores donde predomina el relleno a partir de materiales de demolición (concreto, vigas y varillas de hierro, etc.) de sectores donde el relleno corresponde principalmente a sedimentos limo-arenosos (relleno a partir de refulado y/o retransporte de sedimentos Pampeanos).

GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Los 200 km² de superficie que posee la Ciudad de Buenos Aires, se desarrollan sobre una planicie loésica con bajo relieve relativo, labrado por cursos de poca profundidad e interfluvios romos que le dan un aspecto mesetiforme. Además, las sucesivas modificaciones del relieve, producto de rellenos y excavaciones, han alterado la mayor parte del terreno original, rebajando barrancas, rectificando cauces de arroyos y rellenando bajos. Por ese motivo son pocos los lugares que posibilitan reconocer las unidades que constituyen su subsuelo inmediato. Por medio de perforaciones se reconoció el basamento cristalino y por encima de éste y en discordancia, sedimentitas del Terciario y Cuaternario.

El basamento cristalino está compuesto por rocas metamórficas, que pueden variar entre una filita y un gneiss, encontrándose debajo de una cubierta sedimentaria de aproximadamente 300 metros de espesor (Rimoldi, 2001). El basamento, al que se le asignó una edad >2085 Ma, corresponde al Proterozoico (Dalla Salda, 1981).

Por encima del basamento cristalino, y tras un gran hiatus, tuvo lugar la depositación de sedimentos que originaron secuencias principalmente continentales (eólicas, loésicas y fluviales) y marinas (en diferentes facies), correspondientes a las Formaciones Olivos (oligocena superior), Paraná (miocena superior a media) y Puelches (plioleistocena), (Pereyra et al., 2001). Sobrepuestas a la mencionada Formación Puelches, se disponen las sedimentitas que constituyen el “Pampeano” y “Post Pampeano” de Ameghino (1880), que

conforman unidades aflorantes dentro del territorio de la Ciudad de Buenos Aires, representando los últimos 30 a 40 metros culminantes de la sucesión estratigráfica.



Figura 3. Izquierda: Foto aérea tomada en el año 1936 donde puede observarse que el predio donde se ubica actualmente Ciudad Universitaria no existía y las aguas del Río de la Plata llegaban hasta las vías del ferrocarril General Belgrano. Derecha: Imagen de satélite que muestra la configuración actual de la línea de costa y las construcciones correspondientes a Ciudad Universitaria. En ambas imágenes la línea blanca punteada indica la ubicación de las vías del ferrocarril General Belgrano.

Los Sedimentos Pampeanos ocupan los sectores más altos de la Ciudad, conocida geomorfológicamente como Terraza Alta (Yrigoyen, 1993). En el sector costero se los puede reconocer en las barrancas de Parque Lezama, Belgrano y Núñez. Dichas barrancas conforman el paleo-acantilado, cuya plataforma de abrasión afloraba a lo largo de toda la costa de la Ciudad y hoy se encuentra cubierta por rellenos en su totalidad. Los Sedimentos Pampeanos están compuestos en su parte inferior por la Formación Ensenada o Ensenadense (pleistocena inferior) y en su parte superior por la Formación Buenos Aires o Bonaerense (pleistocena superior). Estas Formaciones son depósitos loésicos compuestos por limos castaños con predominio de materiales de origen volcánico y fragmentos líticos de rocas volcánicas y pumíceas, con subordinada participación de cuarzo y feldespatos. En algunos sectores de la parte superior de la Formación Ensenada se puede reconocer la presencia de un calcrete que puede alcanzar un metro de espesor. Es muy difícil la diferenciación de estas dos Formaciones, pero el Ensenadense presenta mayores concentraciones de CO_3Ca , que lo hace más apto para las fundaciones y el Bonaerense más contenido de arena. La depositación de estos Sedimentos está relacionada con períodos secos (Pereyra et al. 2001). Los Sedimentos Pampeanos actúan como un acuífero de baja o media productividad componiendo en su sección saturada el Acuífero Pampeano (Auge, 1990). La sección inferior (Ensenadense basal) actúa como acuitardo. La porosidad hidráulica y la porosidad efectiva más frecuentes varían de 1 a 10 m/día y entre 5 y 10 %, respectivamente.

La transmisividad oscila entre $100\text{m}^2/\text{d}$ a $200\text{m}^2/\text{d}$, pudiéndose obtener caudales medios de entre 40 y $100\text{ m}^3/\text{h}$. Este acuífero se emplea para uso doméstico en lugares donde no hay abastecimiento de agua potable, para riego y para el ganado en la zona rural. Hidrogeológicamente se comporta como acuífero libre en la sección superior y semi-libre en la inferior, por debajo de $30\text{-}50\text{ m}$ de profundidad. Su importancia radica en ser la vía para la recarga y la descarga del Acuífero Puelche.

Los Sedimentos Postpampeanos se encuentran en el subsuelo de la Ciudad en el relieve labrado en el Pampeano, a cotas casi equivalentes al actual nivel de las aguas del estuario, razón por la que sus afloramientos resultan frecuentes en el fondo de los valles profundos actuales y a veces también conforman los terrenos de coberturas actuales en zonas más elevadas. Están representados en la base por la denominada Formación Luján, un sedimento fluvial y lacustre que se extiende en las cuencas fluviales a lo largo de las márgenes, recortando los depósitos loésicos de las Formaciones Buenos Aires y Ensenada. Litológicamente, se trata de limos arcillosos relativamente plásticos y cuya compacidad resulta variable. Los niveles basales son de carácter más arenoso con abundantes rodados calcetizados retrabajados de las Formaciones subyacentes, aunque también poseen capas arcillosas verdinegras y grisáceas plásticas. Estos sedimentos se encuentran dispuestos según lentes aislados de mayor a menor amplitud en los laterales de las barrancas fluviales, en forma discontinua; y cuyo espesor está en relación directamente proporcional con su amplitud areal. La edad de esta unidad ha sido considerada entre los 28.000 y 8.000 años (Rimoldi, 2001).

Sobre la Formación Luján se encuentra la Formación Querandí, la cual es el resultado de la ingesión de las aguas atlánticas, que penetraron profundamente en el ámbito bonaerense por los grandes cauces: en el Matanzas-Riachuelo hasta la localidad de Morón y en el Reconquista hasta Puente Márquez. Esta ingesión tuvo el suficiente alcance como para labrar un nivel de terraza baja (Yrigoyen, 1993), que se extendió como una amplia planicie anegable costera al pie de las barrancas. Litológicamente la Formación Querandí está compuesta por depósitos de limos plásticos, conchiles, característicos por su coloración gris verduzco a negros, típicos depósitos de playa, sobre todo en la zona marginal del Plata. Los restos fósiles de esta unidad han registrado una antigüedad de 6.000 años. Estos limos son hidroplásticos y su humedad natural supera en mucho la del límite líquido, dando lugar a barros cuya capacidad de soporte es prácticamente exigua a nula. Los sedimentos postpampeanos, por su variada composición, pueden actuar tanto como acuitardos o acuicludos (Marcomini y Lopez, 2004) en la planicie estuárica de composición arcillosa del estuario del Río de La Plata o como acuíferos en depósitos de dunas o ingesiones marinas del Holoceno. Sus aguas presentan valores elevados de salinidad (27 g/l) con predominio de ClNa y pueden clasificarse como Bicarbonatadas Sódicas, Magnésicas-Cálcicas. Por su baja productividad, alta salinidad y vulnerabilidad a la contaminación, hacen que este acuífero no sea considerado para abastecimiento de agua (Auge, 2006).

El sector costero donde se llevaron a cabo los relevamientos magnetométricos, perfiles de Georadar (GPR) y tomografías eléctricas de resistividad (TER) de este estudio piloto, ubicado en Ciudad Universitaria, corresponde a un sector de rellenos. Estos se realizaron sobre los restos de la plataforma de abrasión que corresponde a los Sedimentos Pampeanos y los depósitos de la planicie de acumulación estuárica correspondientes al Postpampeano. El espesor de relleno es variable entre 4 y 7 m , para alcanzar cotas de $4,5\text{ m}$ sobre el nivel de referencia del Río de La Plata.

METODOLOGÍA

Los métodos geofísicos permiten localizar, mapear y caracterizar rasgos del subsuelo mediante mediciones superficiales que responden a propiedades físicas, eléctricas o químicas (*e.g.* Reynolds, 2000; Mussett y Khan, 2000). Estas mediciones no invasivas pueden ser usadas efectivamente para obtener información geológica detallada, guiar excavaciones y muestreos de subsuelo y proveer controles continuos. En este trabajo se llevaron a cabo relevamientos magnetométricos, perfiles de Georadar (GPR) y tomografías eléctricas de resistividad (TER) en una zona de estudio piloto ubicada en Ciudad Universitaria.

Equipamiento

Para la magnetometría se utilizó un magnetómetro protónico GEOMETRICS modelo G856 con una resolución de 0.1 nT. Para las mediciones de resistividad, se utilizó un georesistivímetro para tomografía geoelectrica modelo Syscal R1 Plus Switch 48 (marca IRIS), el cual puede ser conectado a un arreglo lineal de 48 electrodos con un espaciado máximo de 10 m. Los parámetros geométricos y de adquisición (máxima desviación estándar tolerada, número máximo y mínimo de “stacks” por medición, voltaje deseado de la señal, etc.) deben ser prefijados. El resistivímetro lleva a cabo automáticamente las mediciones predefinidas según el tipo de arreglo seleccionado y proporciona lecturas directas de la corriente inyectada, de la diferencia de potencial, de la ubicación de los electrodos y de la resistividad aparente. Los parámetros geométricos *n* (nivel) y *d* (separación de los electrodos) se asignan según el nivel de ruido y la profundidad máxima de penetración deseados. Para las determinaciones con georadar, se utilizó el modelo RAMAC CuII, de la marca MALA, equipado con antenas de 500, 100, 50 y 25 MHz, y el correspondiente software para adquisición y procesamiento de los datos RAMAC Ground Vision Version 1.4.1 y REFLEX-Win Version 3.5.1.

Magnetometría

Las mediciones magnetométricas tienen dos aplicaciones fundamentales: el mapeo de estructuras geológicas y la localización y caracterización de elementos y estructuras metálicas (con contenido de hierro) soterradas (*e.g.* Reynolds, 2000; Mussett y Khan, 2000). La presencia de metales ferruginosos genera una variación local en la intensidad del campo magnético terrestre, permitiendo la detección, mapeo y caracterización de objetos metálicos enterrados. Normalmente se utilizan para estos fines la medición del campo magnético total (con un solo sensor) y la medición del gradiente magnético (con dos sensores separados verticalmente por una distancia constante). El gradiente magnético realza las anomalías producidas por objetos enterrados a profundidades someras. La magnetización inducida por un material depende de la susceptibilidad magnética del mismo, los objetos ferruginosos poseen el mayor valor de susceptibilidad. La susceptibilidad magnética puede ser medida en el campo, o bien pueden recolectarse muestras para su posterior medición en el laboratorio.

Las mediciones magnetométricas son procesadas aplicando correcciones para la variación diurna (intrínseca del campo magnético terrestre) y substrayendo los correspondientes valores del campo geomagnético internacional de referencia (IGRF) (*e.g.* Reynolds, 2000; Mussett y Khan, 2000).

El campo magnético terrestre total se midió en dos sectores diferentes de Ciudad Universitaria (Figura 4). En el sector A (Figura 4) se midieron 121 estaciones a lo largo de 4 perfiles. La ubicación geográfica de cada una de las estaciones medidas se determinó mediante el uso de GPS y cinta. La distancia entre las estaciones a lo largo del Perfil 1 fue de

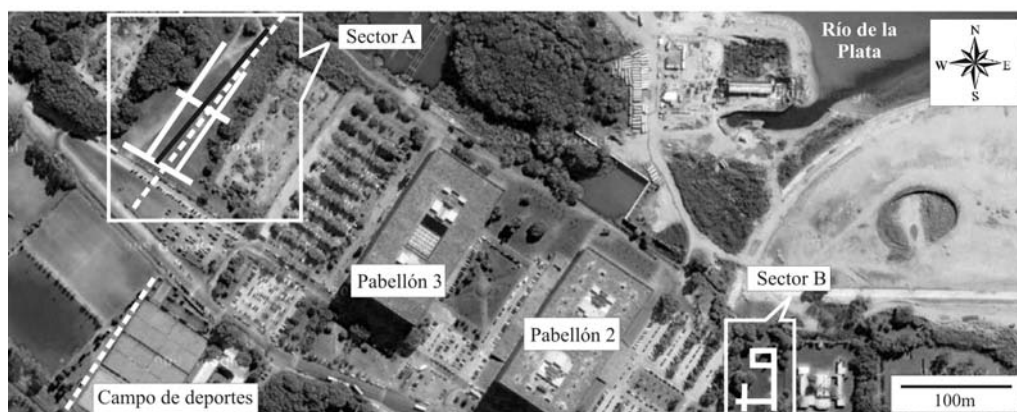


Figura 4. Ubicación de los Sectores relevados (A y B) en la zona piloto de Ciudad Universitaria. Se indica la localización de los Pabellones 2 y 3 y del campo de deportes. Líneas blancas punteadas: Perfiles de georadar. Línea negra: Tomografías eléctricas de resistividad. Líneas blancas continuas: Perfiles magnetométricos.

2 m, mientras que a lo largo de los perfiles 2, 3 y 4 fue de 4m. Con la finalidad de determinar el nivel de ruido y/o interferencia en la zona y de reducir las perturbaciones que pudiese introducir en las mediciones, en cada estación se midieron tres o más valores del CMT que luego se promediaron. En cada estación los valores medidos fueron muy coherentes entre sí, indicando un bajo nivel de ruido. Para llevar a cabo la corrección debida a la variación diurna del campo magnético terrestre, se midió el valor del mismo cada 30 minutos en una estación definida como base. La variación diurna máxima durante el relevamiento fue de 30 nT, no habiéndose registrado tormentas magnéticas. El valor del Campo Geomagnético Internacional de Referencia (correspondiente a Julio de 2009: 23207 nT) fue sustraído de los datos corregidos. En el sector B (Figura 4) se midieron 84 estaciones a lo largo de 6 perfiles. La ubicación geográfica de cada una de las estaciones medidas se determinó mediante el uso de GPS y cinta. La distancia entre las estaciones a lo largo de todos los perfiles fue de 2m. Con la finalidad de determinar el nivel de ruido y/o interferencia en la zona y de reducir las perturbaciones que pudiese introducir en las mediciones, en cada estación se midieron tres o más valores del CMT que luego se promediaron. En cada estación los valores medidos fueron muy coherentes entre sí, indicando un bajo nivel de ruido. Para llevar a cabo la corrección debida a la variación diurna del campo magnético terrestre, se midió el valor del mismo cada 30 minutos en una estación definida como base. La variación diurna máxima durante el relevamiento fue de 10 nT, no habiéndose registrado tormentas magnéticas. El valor del Campo Geomagnético Internacional de Referencia (correspondiente a Julio de 2009: 23207 nT) fue sustraído de los datos corregidos.

Los valores de las anomalías obtenidas fueron regularizados aplicando el método de grillado de Mínima Curvatura. Esta metodología es la más aconsejable pues regulariza datos geofísicos creando una grilla de valores estimados a partir de datos distribuidos en forma no uniforme sobre el terreno. La profundidad a las fuentes causantes de las anomalías detectadas se estimó mediante la deconvolución de Euler. La deconvolución de Euler es un método que permite una rápida interpretación en tres dimensiones de datos gravimétricos y magnetométricos, permitiendo estimar la profundidad y ubicación de las fuentes causantes

de las anomalías detectadas. Esta metodología se basa en la ecuación de homogeneidad de Euler (Reid et al., 1990). Opera con una ventana de datos móvil y un índice estructural fijo (IE). El índice estructural (IE) representa la tasa de cambio con la distancia para el campo magnético o de gravedad. El IE para gravimetría se relaciona con la forma de los cuerpos geológicos inferidos que determina el conjunto de soluciones de Euler, variando desde 2 para fuentes esféricas puntuales, 1 para cilindros horizontales y 0 para fallas escalón. Para magnetometría el IE es mayor, sumándole 1 (Reid et al., 2003). Para cada posición de la ventana, hay una solución a un sistema de ecuaciones lineal (Hoffmann, 1999). Esta solución brinda la posición y profundidad del cuerpo generador del campo potencial. La conexión entre el índice estructural aplicado y los dominios geológicos reales constituyen la base de éste método (Salem y Smith, 2005). Para obtener una primera impresión de las características de la zona estudiada, es conveniente comenzar con el IE correspondiente a una fuente puntual. En ese caso, como resultado de la deconvolución de Euler se obtienen las coordenadas y profundidades de las masas puntuales que representan la superficie superior de la fuente causante de la anomalía detectada. Es importante mencionar que si se consideran fuentes puntuales las profundidades que se obtienen representan las profundidades máximas posibles para las fuentes. Para el cálculo de las soluciones de Euler se utilizó el software Euler 1.0 (Cooper, 2001).

Resistividad eléctrica

Las mediciones de resistividad se llevan a cabo a través de la colocación de cuatro electrodos en contacto con el suelo o roca. Se aplica una corriente eléctrica que circula a través del terreno entre un par de electrodos, mientras se mide el voltaje registrado en el otro par de electrodos. La profundidad de penetración depende de la separación utilizada entre los electrodos. La resistividad medida corresponde a una “resistividad aparente”, que resulta del promedio de las “resistividades reales” de las distintas capas o unidades geológicas atravesadas por la corriente eléctrica (e.g. Reynolds, 2000; Mussett y Khan, 2000). Las mediciones de resistividad incluyen la realización de perfiles, sondeos eléctricos verticales o tomografías 2D y 3D. Los perfiles permiten determinar las variaciones laterales en resistividad, mientras que los sondeos eléctricos verticales investigan como varía la resistividad con la profundidad asumiendo la existencia de capas lateralmente homogéneas. Obviamente, la resistividad puede variar tanto lateral como verticalmente, por lo que ni los perfiles ni los sondeos eléctricos verticales proporcionan resultados precisos. Para investigar la estructura eléctrica de una región son necesarios entonces tendidos multi-electrodos que permitan obtener imágenes eléctricas.

La tomografía eléctrica de resistividad (TER) es una técnica en la que muchas mediciones individuales de resistividad son combinadas para generar una sección de resistividad (2D o 3D) del subsuelo. Se registran mediciones con diferentes espaciamientos y posiciones de los electrodos a lo largo de una línea de electrodos, para proveer información en varias posiciones laterales y verticales debajo del tendido (e.g. Reynolds, 2000; Mussett y Khan, 2000). Cuando el relevamiento es finalizado, los valores obtenidos se grafican y se calculan las correspondientes isolíneas. Sin embargo, las profundidades utilizadas son bastantes arbitrarias y la variación de la resistividad en la sección obtenida no es exacta, por lo cual se la denomina “pseudo-corte”. Mediante la utilización de programas de computación dicho “pseudo-corte” puede ser invertido para lograr una sección de resistividad real que es denominada tomografía eléctrica de resistividad (TER).

Para llevar a cabo un modelado inverso de la distribución de resistividades a lo largo de cada uno de los perfiles se utilizó un modelo rectangular de celdas, aplicando el software RES2DINV de Geotomo (Loke, 2001; Loke, 1996-2002). El programa RES2DINV permite estimar los valores de resistividad de cada una de las celdas que mejor ajustan con los valores medidos en la superficie, dentro de un cierto rango de discrepancia. Los valores derivados de las mediciones de campo se presentan en forma de “pseudo-corte”, donde las resistividades son asignadas a cada punto a lo largo del perfil en función del tipo de arreglo utilizado (Telford, 1990). Durante la rutina de inversión se modifican los parámetros iniciales mediante la resolución de una ecuación de cuadrados mínimos (Lines y Treitel, 1984). Dicha ecuación permite determinar los cambios en el modelo que reducen la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores de resistividad aparente calculados a partir del modelo de celdas y los valores de resistividad aparente deducidos a partir de los datos reales tomados en el campo; también minimiza los cambios de los parámetros del modelo entre iteraciones sucesivas. La diferencia entre los valores de resistividad aparente calculados y los inferidos de los datos de campo se expresa a través del cálculo del error cuadrático medio (RMS: root mean square). Finalmente, se obtiene un diagrama de isolíneas que muestran la distribución de resistividad en el modelo, que constituye la TER.

Se realizaron dos TER en el sector A de la zona estudiada (Figura 4) con distinta longitud de tendido y diferente espaciado de los electrodos. En ambos casos se utilizó un tendido de tipo Wenner-Schlumberger. En la primera TER se emplearon 48 electrodos, con una separación entre los mismos de 2 m, un largo total del tendido de 96 m y una profundidad de penetración máxima de 13 m. En la segunda TER se emplearon 48 electrodos con una separación entre los mismos de 3 m, un largo total del tendido de 141 m y una profundidad de penetración máxima de 26 m.

Georadar (GPR)

El Georadar (GPR) utiliza ondas electromagnéticas de alta frecuencia para adquirir información del subsuelo. La energía es irradiada al subsuelo desde un transmisor, es reflejada nuevamente hacia la superficie y captada por una antena receptora (e.g. Reynolds, 2000; Mussett y Khan, 2000). El transmisor produce un pulso de ondas extremadamente corto, que dura sólo unos pocos nanosegundos. Estos pulsos cortos son necesarios debido a que las ondas electromagnéticas viajan tan velozmente que el tiempo de reflexión (two-way time, TWT) para interfases someras es demasiado pequeño. El tiempo de reflexión (two-way time, TWT) es una medida de la distancia a la interfase responsable de la reflexión. La señal reflejada es registrada, obteniéndose una imagen continua o perfil de las condiciones subsuperficiales someras. Las reflexiones de las ondas de radar ocurren cuando existe un contraste de las constantes dieléctricas o las conductividades eléctricas de dos materiales. Los cambios en la conductividad y las propiedades dieléctricas están estrechamente relacionados con las condiciones hidrogeológicas naturales, como la estratificación, la cementación, la humedad, el contenido de fracción arcillosa, la presencia de fracturas, etc. Normalmente existen grandes diferencias en las propiedades dieléctricas de materiales geológicos naturales y de estructuras derivadas de la acción humana (ej. rellenos, contenedores, etc.). Los datos registrados son luego procesados mediante la utilización de programas adecuados que permiten convertir TWTs en profundidades. El procesamiento y reducción de los datos que se lleva a cabo es similar al utilizado en la sísmica de reflexión: remoción de la onda directa y de la onda de aire, migración, eliminación de reflexiones múltiples, correcciones estáticas y topográficas, etc.

Se realizaron dos perfiles en el sector A de la zona estudiada (Figura 4) utilizando la antena de 100 MHz. La elección de la misma se basó en la resolución, profundidad y conveniencia operativa, por tratarse de una zona con circulación de personas y vehículos. Se realizaron las siguientes correcciones y filtrados: a. Corrección estática: se corrigió el tiempo según el tiempo de arribo de la primera onda (onda de aire), utilizando ese tiempo como tiempo 0. Se usó la opción mover a tiempos negativos (las trazas se desplazan hacia tiempos menores). b. Función de ganancia: se utilizó para compensar la atenuación de la señal con el tiempo (es decir, con la profundidad). Se usó AGC (automatic gain control) que ecualiza las amplitudes en cada traza durante todo el tiempo registrado (ns). Perfil 1: largo de ventana 700 ns, factor de multiplicación: 20. Perfil 2: largo de ventana 700 ns, factor de multiplicación 29.44. c. Filtrado espacial (2D): se aplicó el filtrado “running average” que promedia varias trazas juntas. Es un filtro pasa bajos, que disminuye el ruido y enfatiza reflectores horizontales con poco buzamiento. Perfil 1: número de trazas promediadas para el suavizado horizontal 3, tiempo de finalización 736,3136 ns. Perfil 2: número de trazas promediadas para el suavizado horizontal 3, tiempo de finalización 741,1261 ns. d Filtrado Temporal (1D): se aplicó el filtrado “mean filter” a cada traza. Reemplaza los datos en un punto dado de la traza por el promedio obtenido según una ventana centrada alrededor de ese punto. Es un filtro pasa bajos que reduce el ruido. Perfil 1 y 2: *samples* promediados a lo largo de cada traza 2. (Número de *samples* por traza: 800).

RESULTADOS

En el relevamiento magnetométrico realizado en el sector A (Figura 4) se detectaron anomalías de forma aproximadamente circular con valores de entre -600 y 500 nT y un diámetro promedio de unos 10 a 15 m (Figura 5). La amplitud de las anomalías registradas varía muy rápidamente con la distancia horizontal, llegándose a observar variaciones de hasta 100 nT/m. Dicho patrón de anomalías sugiere la presencia de material de demolición (vigas, bloques de concreto con varillas de hierro, etc.) con alto contenido de Fe a profundidades someras (relleno).

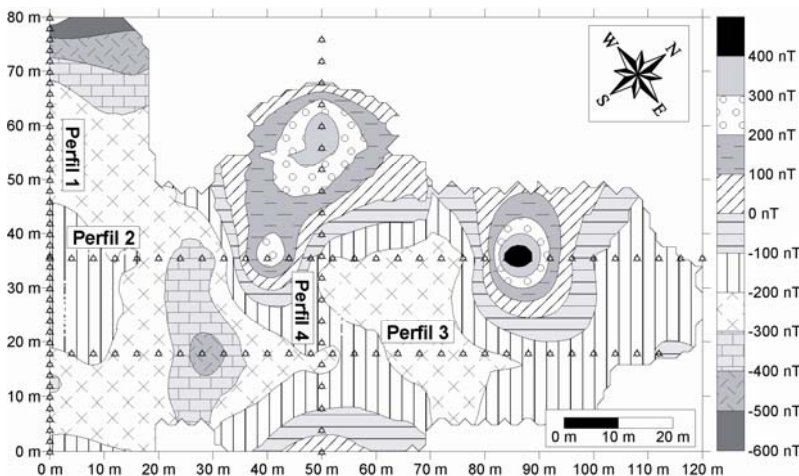


Figura 5. Anomalías magnéticas detectadas en el Sector A. Círculos abiertos: estaciones medidas. Se observan anomalías magnéticas de forma aproximadamente circular, de corta longitud de onda y gran amplitud.

En la Figura 6 se presentan los resultados obtenidos al aplicar la técnica de deconvolución de Euler a lo largo de cada uno de los perfiles relevados. Se utilizaron distintos IE en el cálculo: 3, 2 y 1. Es importante recordar que al considerar fuentes puntuales (IE 3) las profundidades que se obtienen representan las profundidades máximas posibles para las fuentes causantes de las anomalías detectadas. A pesar de no haber restringido la profundidad máxima que podrían tener las soluciones, puede observarse que independientemente del IE considerado, la mayoría de ellas se encuentran entre los 0 y los 15 m de profundidad (Figura 6), sugiriendo que las mismas son generadas por los elementos constituyentes del material de relleno.

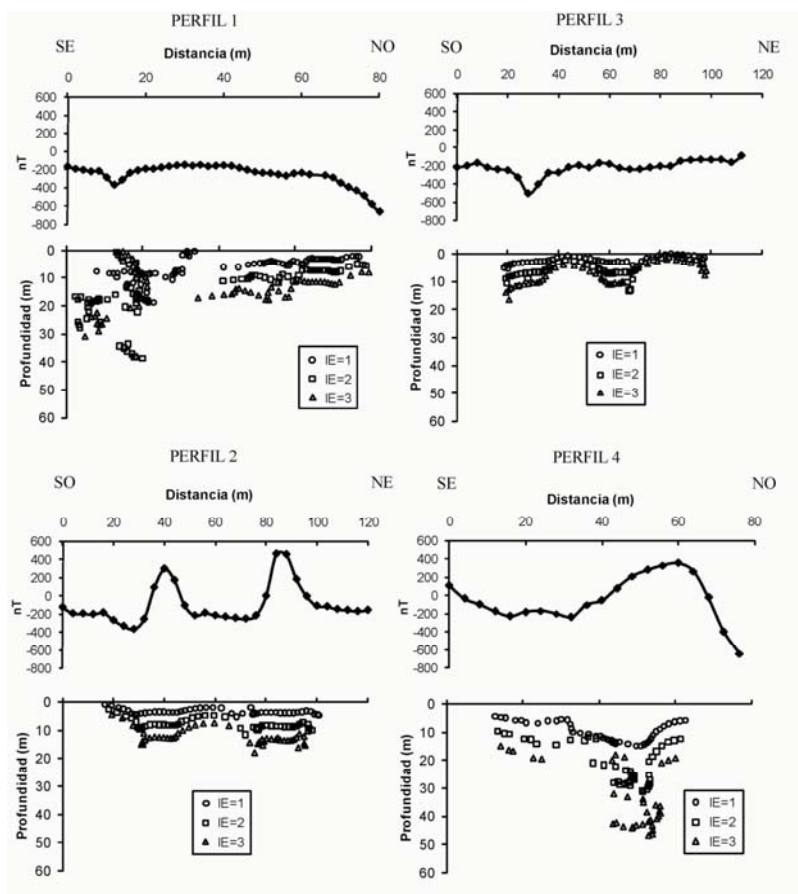


Figura 6. Anomalías magnetométricas detectadas a lo largo de cada uno de los perfiles relevados en el Sector A y las correspondientes soluciones de Euler obtenidas aplicando los IE 1, 2 y 3.

A partir de estos resultados pueden estimarse valores máximos de 15-20 m para el espesor del relleno, y valores promedio de alrededor de 7 – 10 m. El relevamiento realizado en el sector B permitió identificar muy claramente la traza del canal aliviador, dada por una anomalía positiva de hasta 1900 nT (Figura 7). Por otra parte, fuera de la zona del canal se detectaron sólo anomalías negativas cuyos valores varían entre -300 y -500 nT aproximadamente. Dicho patrón podría indicar la ausencia de material de demolición en el relleno, o podría deberse al efecto del canal aliviador que genera anomalías dipolares de gran

amplitud que podrían enmascarar la presencia de anomalías de menor amplitud generadas por la presencia de material de demolición. Sin embargo, la ausencia de bloques de demolición fue confirmada por medio de observaciones y fotografías tomadas durante las tareas de construcción del canal. La Figura 8 muestra los resultados obtenidos al aplicar la técnica de deconvolución de Euler a lo largo de los perfiles 1, 2, 3 y 5. Se utilizaron distintos IE en el cálculo: 3, 2 y 1. A pesar de no haber restringido la profundidad máxima que podrían tener las soluciones, puede observarse que independientemente del IE considerado, la mayoría de las mismas se encuentran entre los 0 y los 7-10 m de profundidad (Figura 8). También puede verse que las soluciones que fueron obtenidas empleando un IE de 3 y que se ubican por debajo de las anomalías positivas de gran amplitud detectadas a lo largo de los perfiles 2, 3 y 5, se disponen conformando un patrón que tiende a ser semicircular, lo cuál estaría representando la porción superior del canal aliviador. Al respecto cabe resaltar, que al considerar un IE de 3 (fuente puntual), se obtienen las coordenadas y profundidades de las masas puntuales que representan la superficie superior de la fuente causante de la anomalía detectada. A partir de estos resultados pueden estimarse valores máximos de 8-10 m para el espesor del relleno, y valores promedio de alrededor de 3 – 5 m (Figura8). Las profundidades mencionadas también fueron confirmadas por medio de observaciones y fotografías tomadas durante las tareas de construcción del canal.

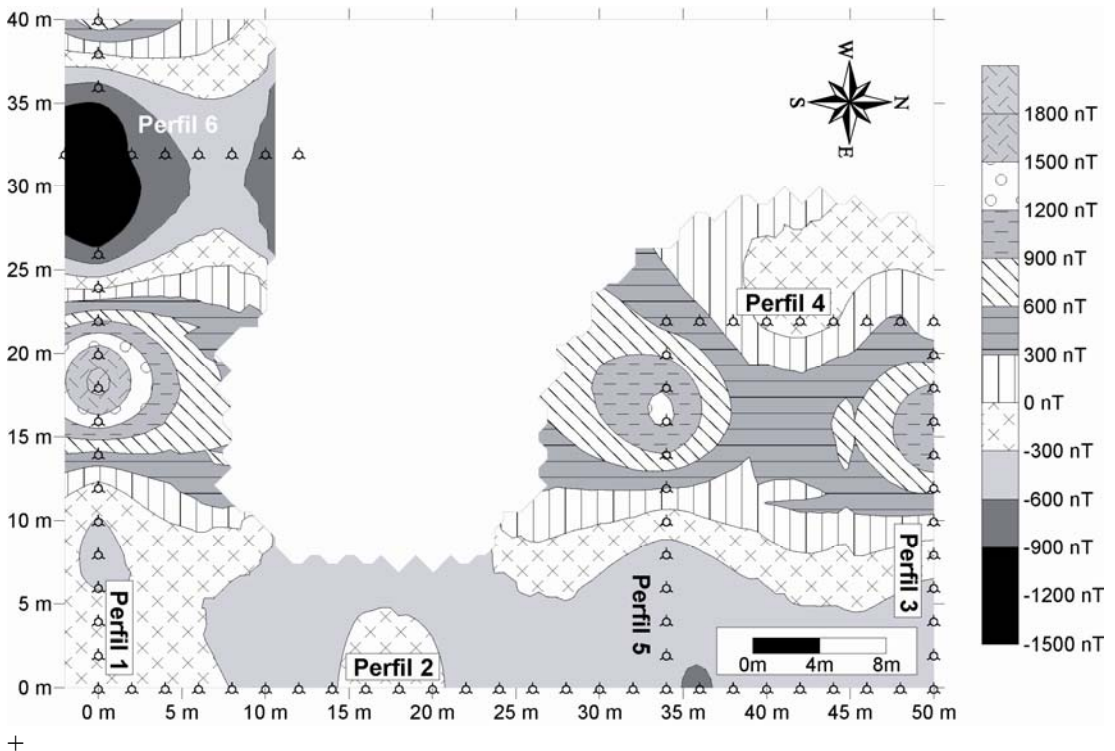


Figura 7. Anomalías magnéticas detectadas en el Sector B. Círculos abiertos: estaciones medidas. Se observa una anomalía positiva de gran amplitud de dirección N-S.

En el caso de las TER pudo identificarse una zona superior que llega aproximadamente hasta los 5-6 m de profundidad, donde se observan sectores de diferente resistividad. Estos parches de resistividad tienen una extensión longitudinal promedio de alrededor de 10 -15 m y sus valores varían entre los 85 y los 30 Ohm.m. Las TER son prácticamente paralelas a los Perfiles 2 y 3 del relevamiento magnetométrico (Figs. 4 y 5), encontrándose su traza entre ambos perfiles. Al comparar la zona superior de las TER con las anomalías magnetométricas detectadas a lo largo del Perfil 2 (Figura 6), puede observarse una correlación entre la extensión longitudinal y la posición de los parches de baja resistividad y la longitud de onda y ubicación de las anomalías magnéticas positivas a lo largo del Perfil 2. Esta coincidencia indicaría la presencia de materiales de alta conductividad y elevado contenido de Fe (vigas, bloques de concreto con varillas de hierro, etc.) a profundidades someras, los cuales corresponderían al relleno, confirmando los resultados obtenidos en el relevamiento magnetométrico y las profundidades calculadas a través de la deconvolución de Euler. Por

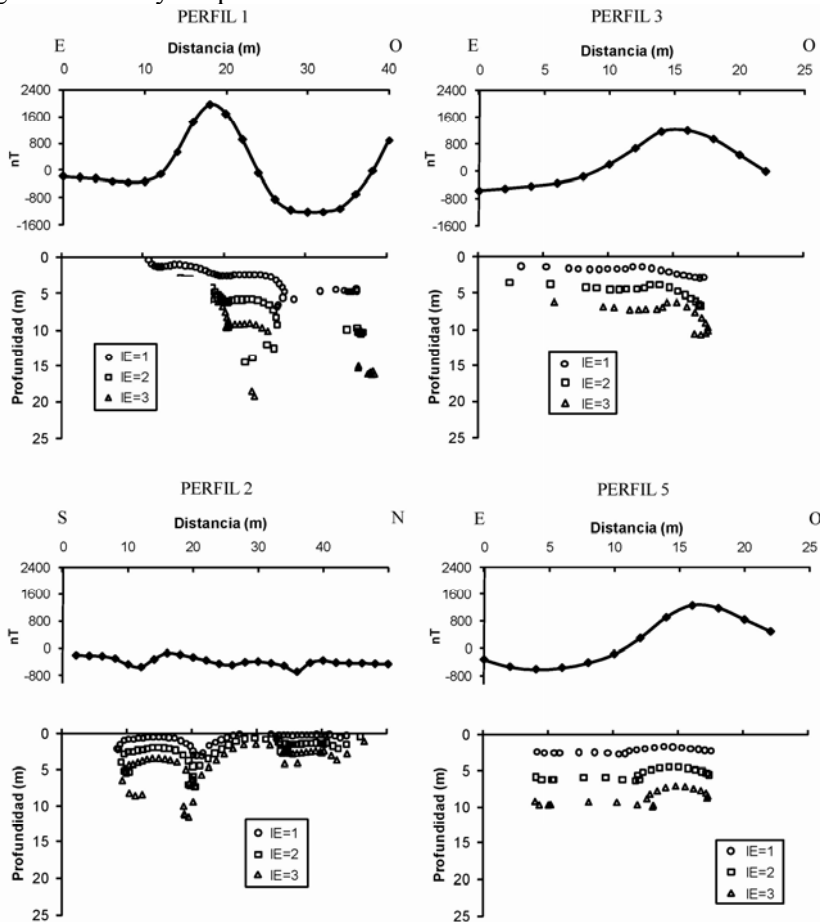


Figura 8. Anomalías magnetométricas detectadas a lo largo de los perfiles 1, 2, 3, y 5 relevados en el Sector B y las correspondientes soluciones de Euler obtenidas aplicando los IE 1, 2 y 3.

debajo de esta capa la resistividad comienza a disminuir debido a la presencia del nivel freático hasta una profundidad de 9 metros, donde culminan los materiales de relleno y se

alcanzan valores de resistividad de entre 25 y 15 Ohm.m (Figs. 9 y 10). A partir de los 9 m y hasta los 21 m de profundidad, la resistividad disminuye notablemente hasta valores menores a los 10 Ohm.m a los 13 m de profundidad, debido a la presencia del acuífero Pampeano. Por debajo de los 21 m de profundidad los valores de resistividad aumentan notablemente hasta 40 -50 Ohm.m a los 26 m de profundidad en coincidencia con la presencia, posiblemente, de los sedimentos arenosos correspondientes al acuífero Puelche. Los valores de resistividad obtenidos y mencionados anteriormente son semejantes a los reconocidos precedentemente por otros autores. Para el nivel acuífero de las Arenas Puelches se han observado valores superiores a 30 Ohm.m, mientras que en los Sedimentos Pampeanos se han registrado valores de entre 10 y 20 Ohm.m (Lossino et al., 2005; Ainchil et al., 2005). Lamentablemente no se cuenta con la presencia de perforaciones en la zona de Ciudad Universitaria para poder confirmar los espesores y profundidades deducidos en este trabajo a partir las TER. Debido al carácter lenticular y discontinuo de los Sedimentos PostPampeanos

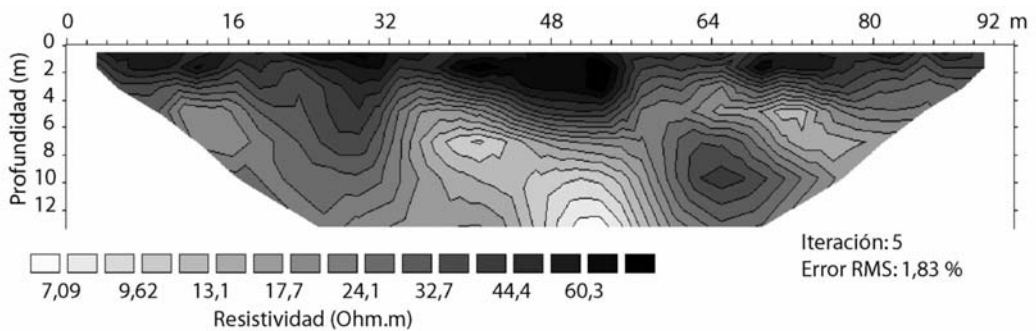


Figura 9. Tomografía eléctrica de resistividad llevada a cabo en el Sector A. Espaciamiento de los electrodos: 2 m, largo del tendido: 96 m.

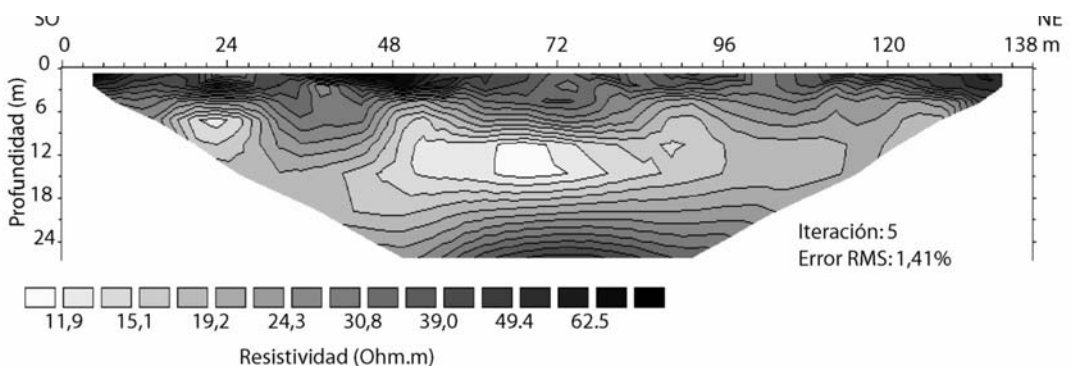


Figura 10: Tomografía eléctrica de resistividad llevada a cabo en el Sector A. Espaciamiento de los electrodos: 3 m, largo del tendido: 141 m.

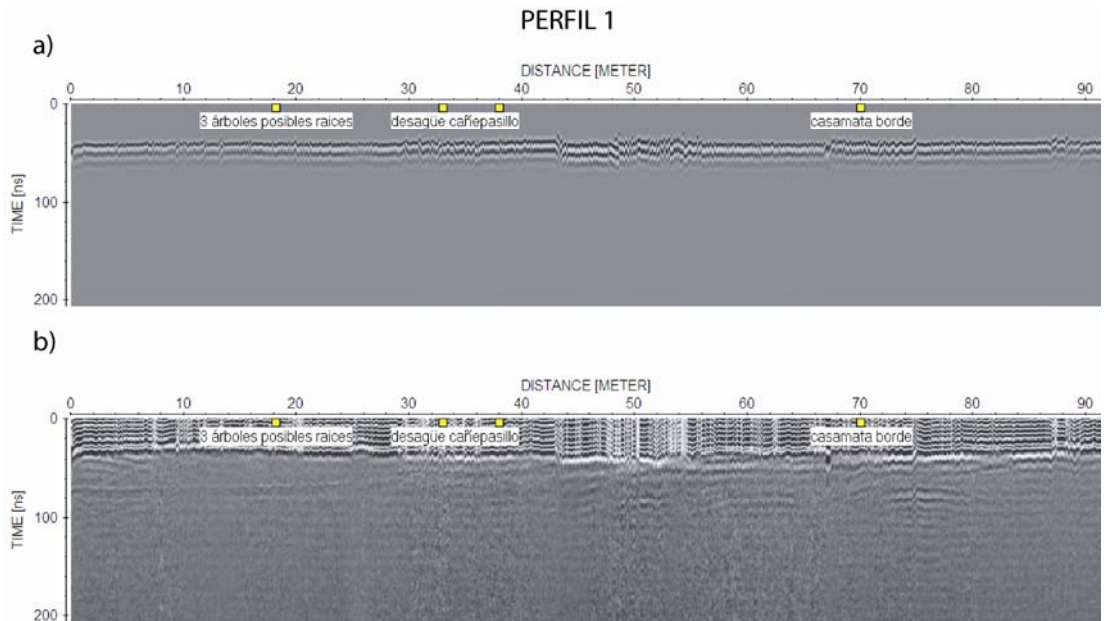


Figura 11: Perfil 1 de GPR llevado a cabo en el campo de deportes (ver Figura 4). a) sección sin procesar. b) sección procesada (ver Metodología).

(ver Geología e Hidrogeología) resulta muy difícil y poco recomendable extrapolar información sobre espesores y/o profundidades provenientes de perforaciones localizadas en otros sectores de la Ciudad de Buenos Aires.

En el caso de los perfiles de GPR no se logró una buena penetración de la señal en el subsuelo, registrándose una atenuación muy intensa de las ondas electromagnéticas irradiadas. Esta escasa profundidad de penetración podría estar relacionada con la existencia de anomalías conductoras en el relleno. Sin embargo, la presencia de suelos arcillosos húmedos también podría ser responsable de la limitada penetración de la señal de GPR observada. En la Figura 11a se presenta el Perfil 1 (realizado en el campo de deportes, ver Figura 4) sin procesar. La Figura 11b muestra ese mismo perfil luego de su procesamiento (ver sección Metodología). Hasta los 20 ns sólo se observan varias reflexiones múltiples de la onda de aire y de la onda directa, mientras que entre los 50 y los 100 ns pueden visualizarse un par de hipérbolas de difracción. Dichas hipérbolas están ubicadas entre los 50 y 80 m del perfil aproximadamente (Figura 11b) y muy probablemente deban su origen a la presencia de cañerías y construcciones (Figura 11b). Si bien los perfiles se registraron hasta los 700 ns, en las Figs. 11a y b sólo se grafican los resultados correspondientes a los primeros 200 ns, ya que a tiempos mayores no se observaron reflexiones continuas que resultaran de interés.

CONSIDERACIONES FINALES

Pudo determinarse que las TERs y los métodos magnéticos son muy útiles para caracterizar las zonas de relleno a lo largo de la costa de Buenos Aires, particularmente en Ciudad Universitaria. Por otra parte, el método de GPR no sería aplicable a la zona de estudio debido a las características intrínsecas de la misma (e.g. tipo de litología dominante en la

cubierta fundamentalmente arcillosa y condiciones hidrogeológicas naturales) o a la presencia de anomalías conductoras en el material de relleno.

A partir de los relevamientos realizados en este estudio piloto pudieron diferenciarse sectores en Ciudad Universitaria con distinto tipo de relleno. Pudo determinarse la existencia de una llamativa heterogeneidad en el tipo de relleno y en su espesor en sectores que se encuentran geográficamente muy cercanos. Mientras que en el sector A predomina un relleno dado predominantemente por material de demolición con elementos con alto contenido de hierro, en el sector B predominaría en el relleno la presencia de material arenoso y arcilloso (proveniente del mismo lecho del Río de la Plata y/o correspondiente a retransporte de sedimentos Pampeanos). A través de la deconvolución de Euler pudieron estimarse las profundidades aproximadas de las fuentes causantes de las anomalías magnetométricas detectadas. Dichas profundidades coinciden con las estimadas en el Sector A a partir de las TERs y constituyen una buena estimación del espesor del relleno. Pudo determinarse que el relleno sería más espeso en el Sector A que en el Sector B.

Los resultados obtenidos hasta el momento en este estudio piloto son alentadores, por lo que se planea continuar con los relevamientos en otras zonas rellenadas. La falta de información sistematizada sobre las características y grado de homogeneidad de las zonas rellenadas frecuentemente es responsable de fallas estructurales en las fundaciones edilicias y de problemas ambientales, generando importantes costos adicionales no contemplados originalmente en los presupuestos y planificaciones de las diferentes obras. Debido al creciente desarrollo urbano de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el área metropolitana, resulta de sumo interés contar con información de detalle sobre las áreas de relleno en la costa del Río de la Plata. La misma impactaría en futuros emprendimientos en los sectores costeros permitiendo una apropiada planificación, un presupuesto certero, la correcta valoración de los correspondientes impactos ambientales y un adecuado planeamiento urbano.

Agradecimientos. La presente investigación fue financiada por la Universidad de Buenos Aires mediante el proyecto UBACyT 0266 de la Programación Científica 2010-2012 y por el CONICET mediante el proyecto PIP 747/10.

REFERENCIAS

- Ameghino, F., 1880. "La Formación Pampeana". pp. 376. Paris, Buenos Aires.
- Adepelumi, A. y M. Olorunfemi, 2000. Engineering geological and geophysical investigation of the reclaimed Lekki Peninsula, Lagos, South West Nigeria. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58: 125-132.
- Ainchil, J., Calahorra Fuertes, P. y E. Kruse, 2005. Aplicaciones de Perfilajes de Pozos en el Noreste de la Pcia. de Bs. As. IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Río IV, Córdoba.
- Auge, M., 1990. Aptitud del agua subterránea en La Plata, Argentina. Seminario Latinoamericano sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Actas:191-201. Buenos Aires.
- Auge, M., 2006. Hidrogeología de la Ciudad de Buenos Aires, Serie Contribuciones Técnicas Ordenamiento Territorial 6. Segemar. 42.
- Byer, G. B. y J. A. Mundell, 2004. Use of Geophysical Surveys for Fill Characterization and Quantity Estimation at Brownfield Sites – A Case History. *Proceedings: SAGEEP 2004, Environmental and Engineering Geophysical Society, Colorado Springs, Colorado, United States.*

- Cooper, G., 2001. Euler 1.00 for Windows.
- Dalla Salda, L., 1981. El basamento de la Isla Martín García-Río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 25: 29-43.
- Fenning, P. y B. Williams, 1997. Multicomponent geophysical surveys over completed landfill sites. En: McCann, D., Eddleston, M., Fenning, P. y Reeves, G. (Eds.), *Modern Geophysics in Engineering Geology*, Geological Society Engineering Geology Special Publication N°12, 125-138.
- Green, A., E. Lanz, H. Maurer, y D. Boerner, 1999. A template for geophysical investigations of small landfills. *The Leading Edge*, 2: 248-254.
- Hoffmann, M., 1999. Dreidimensionale Interpolation und Interpretation von Schwerfeldern. Diplomarbeit. Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik der Freien Universität Berlin, Alemania. p. 65.
- Holocwan, P.T., 1996. Evolución y acreción antrópica en el sector costanero de la ciudad de Buenos Aires. *Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería*. X:144-168. Buenos Aires.
- Lines, L.R. y S. Treitel, 1984. A view of least-squares inversion and its application to geophysical problems. *Geophysical Prospecting*, 32: 159-186.
- Loke, M.H., 1996-2002. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. *Geotomo Software*.
- Loke, M.H., 2001. Rapid 2-D resistivity and IP inversion using the least-squares method. *Geoelectrical Imaging 2-D and 3-D*. *Geotomo Software*.
- López, R. y S. C. Marcomini, 2004. Evaluación de los riesgos ambientales por antropogénesis y su valoración frente a futuros cambios climáticos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(3): 416-422.
- Losinno, B. N., Sainato, C. M. y L. Giuffrè, 2005. Propiedades edáficas y del agua subterránea: Riesgos de salinización y sodificación de los suelos, en la zona de Pergamino-Arrecifes. *Ciencias del suelo*, 23(1): 47-58. ISSN 1850-2067.
- Marcomini S.C. y R. A. López, 2006. Manual de manejo Costero. Capítulo "Línea de costa del Río de La Plata". Autores. Editor: I. Isla.
- Marcomini, S.C. y R. A. López, 2004. Generación de nuevos ecosistemas por albardones de relleno en la costa de la ciudad de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(2):261-272.
- Mundell, J. A., y G. B. Byer, 2002. Geophysical Characterization of Brownfield Sites for Better Development Evaluation and Construction Planning. *Proceedings: SAGEEP 2002, Environmental and Engineering Geophysical Society, February, Las Vegas, Nevada, Paper 13ESC12*.
- Mussett, A. y M. Khan, 2000. *Looking into the Earth*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 470.
- Nunn, K., 1979. Geophysical surveys at two landfill sites in the West Midlands. *Symposium on the engineering behavior of industrial and urban fill*. April 1979.
- Orgeira, M.J., C. Vásquez y H. Oстера, 2004. Relevamiento magnetométrico terrestre de rellenos sanitarios: estudio piloto en Gualaguaychú, Pcia. de Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (3):501-505.
- Pereyra, F.X., S. C. Marcomini, R. A. López, M. Merino, y P. Nabel, 2001. Caracterización del medio físico de la ciudad de Buenos Aires y área metropolitana. *Convenio UBA-GCBA. Informe Inédito*. 214 p.

- Prezzi, C., M. J. Orgeira, H. Ostera y C. Vásquez, 2005. Ground magnetic survey of a municipal solid waste landfill: pilot study in Argentina. *Environmental Geology*, 47(7): 889-897. doi: 10.1007/s00254-004-1198-6.
- Prezzi, C., R. López, C. Vásquez y S. C. Marcomini, 2009a. Morfoestratigrafía urbana a partir de métodos geofísicos en la costa de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Área Metropolitana, Argentina. XII Congreso Geológico Chileno. Actas: S3_017. 22-26 Noviembre 2009. Santiago, Chile.
- Prezzi, C., R. López, C. Vásquez y S. C. Marcomini, 2009b. Morfoestratigrafía urbana a partir de métodos geofísicos en la costa de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Área Metropolitana. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, XII Congreso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário y II Reunión de Cuaternario de América del Sur. 21-23 de Septiembre de 2009. La Plata, Pcia. de Bs. As., Argentina. Resúmenes: resumen 293. Editores: E. Fucks, C. Deschamps, C. Silva, E. Schnack. La Plata, Argentina, 2009. ISBN 978-950-34-0596-3.
- Reid, A.B., D. FitzGerald y P. McNerney, 2003. Euler deconvolution of gravity data. SEG Annual Meeting.
- Reid, A. B., J. M. Allsop, H. Granser, A. J. Millett y I. W. Somerton, 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution. *Geophysics*, 55(1): 80-91.
- Reynolds, J., 2000. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons Ltd., Sussex, England, pp.797.
- Salem, A. y R. Smith, 2005. Depth and structural index from normalized local wavenumber of 2D magnetic anomalies. *Geophysical Prospecting*, 53(1): 83-89.
- Telford, W.M., L.P. Geldart y R. E. Sheriff, 1990. *Applied Geophysics*, second ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 790p.
- Yrigoyen, M.R., 1993. Morfología y Geología de la Ciudad de Buenos Aires-Evaluación e Incidencia Geotécnica. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, 7:7-38, Buenos Aires.

Recibido: 15 de septiembre de 2010

Aceptado: 15 de abril de 2011