



INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y
RECURSOS
MINERALES



GEOLOGIA DEL SUBSUELO EN EL PREDIO DEL INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (INTI)

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)
Pamela BOUJON, Alejandro CONDE SERRA, Virginia
NAÓN, Dolores ÁLVAREZ y Javier PERONI

Buenos Aires 2020

GEOLOGIA DEL SUBSUELO EN EL PREDIO DEL INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (INTI)

Pamela Boujon¹, Alejandro Conde Serra¹, Virginia Naón¹, Dolores Alvarez¹ y Javier Peroni¹

¹ *Instituto de Geología y Recursos Mineros (IGRM), Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)*

RESUMEN

A partir del convenio de cooperación e intercambio científico entre el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y las Universidades de Urbino, Ferrara y Camerino de Italia se elaboró este primer estudio con el objetivo de conocer las características geológicas e hidrogeológicas del subsuelo del predio del INTI para evaluar la instalación de bombas de calor (geotermia somera). Para ello, se realizó una búsqueda de perforaciones referentes y aledañas, así mismo se ejecutaron Sondeos Eléctricos Verticales para obtener información del subsuelo hasta profundidades del orden de los 200 m.

Los modelos resistivos obtenidos muestran que hacia el sur del predio, las formaciones geológicas y los acuíferos se profundizan y hacia el oeste, la electrostratigrafía indicaría que hasta los 145 m de profundidad se hallarían sedimentos no consolidados. Por debajo de los mismos habría un resistivo (709 Ohm.m) que podría corresponder a un sedimento consolidado. Se detectaron distintos niveles de acuíferos a profundidades de 5 m y 29 m (acuíferos Pampeano y Puelche) con valores de 19 Ohm.m a 245 Ohm.m respectivamente. Y niveles de acuicludos, acuitardos y aún acuíferos más profundos (Formaciones Paraná y Olivos) hasta los 127m de profundidad con resistividades de 0,8 Ohm.m a 212 Ohm.metro.

Palabras claves: Sondeos Eléctricos Verticales; Geotermia somera; acuíferos.

ABSTRACT

From an agreement of cooperation and scientific exchange between the Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) and the Universities of Urbino, Ferrara and Camerino, Italy; a this first study was carried out with the aim of knowing the geological and hydrogeological characteristics of the subsoil of the INTI site for the installation of heat pumps (low enthalpy geothermal energy). To do this, a search was carried out for reference perforations and Vertical Electric Sounding were carried out to obtain subsurface information up to depths of 200 m. The resistive models obtained show that to the south of the site, the geological formations and aquifers are at greater depth and to the west (plunged to south) electrostratigraphy would indicate that up to 145 m deep a unconsolidate sediments would be found. Below them would be a resistive (709 Ohm.m) that could correspond to a consolidated sediment. Different aquifer levels were detected at depths of 5 m and 29 m (Pampeano and Puelche aquifers) with values from 19 Ohm.m to 245 Ohm.m respectively; and levels of aquiclude, aquitard and deeper aquifers (Paraná and Olive Formations) to 127m deep with resistivity from 0.8 Ohm.m to 212 Ohm.meter.

Keywords: Vertical Electric Sounding; Low Enthalpy Geothermal Energy; Aquifers.

INDICE

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Ubicación y características del predio	4
---	----------

2 GEOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO LOCAL

2.1.- Marco Geológico	5
------------------------------	----------

2.2. Estratigrafía	6
---------------------------	----------

2.2.1.-Formaciones Luján y Querandí (Postpampeano)	7
--	---

2.2.2.- Formaciones Buenos Aires y Ensenada (Pampeano)	8
--	---

2.2.3.- Formación Puelches o Arenas Puelches	9
--	---

2.2.4. Formación Paraná	9
-------------------------	---

2.2.5. Formación Olivos	9
-------------------------	---

2.2.6. Formación Martín García	10
--------------------------------	----

2.3.- Correlación Estratigráfica	10
---	-----------

3.- PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

3.1.- Metodología	13
--------------------------	-----------

3.2.- Resultados	14
-------------------------	-----------

4.- GEOMORFOLOGIA E HIDROGRAFIA

4.1- Geomorfología	17
---------------------------	-----------

4.2.-Hidrografía	17
-------------------------	-----------

4.3.- Clima y balance hídrico	18
--------------------------------------	-----------

5.- AGUA SUBTERRÁNEA

5.1.- Metodología	20
--------------------------	-----------

5.2.- Dinámica	21
-----------------------	-----------

5.3.- Hidroquímica (Parámetros físicos)	21
--	-----------

5.3.1 .Conductividad eléctrica (CE)	21
-------------------------------------	----

5.3.2. Temperatura	22
6.- CONCLUSIONES	22
7.- REFERENCIAS	24
ANEXO	

1 INTRODUCCIÓN

En el marco del Convenio de Colaboración firmado en diciembre del año 2019 entre el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) a través de su Sistema de Centros de Investigación y Desarrollo, y el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), es que se presenta este primer trabajo de investigación sobre las características geológicas e hidrogeológicas del subsuelo del predio del INTI para alcanzar la factibilidad de instalar bombas de calor, a fin de atender la climatización de sus instalaciones.

Así mismo, siguiendo el curso de relación científica, el presente trabajo será elevado a las áreas especializadas en geotermia somera de las universidades de Urbino, Ferrara y Camerino pertenecientes al Consorcio Universitario Italia-Argentina, con quien el SEGEMAR ha firmado un acuerdo marco de intercambio científico en mayo del año 2019, a los efectos de que elaboren un modelo térmico del subsuelo que determine la factibilidad de instalación de bombas de calor.

Como antecedentes sobre la litoestratigrafía de la zona donde se halla el predio INTI, se dispone únicamente de información hasta una profundidad no mayor a los 80 metros. Y como la modelización termal del subsuelo requiere evaluar los sitios con mayor contraste de calor (para el buen funcionamiento de los sistemas de bombas de calor) hasta una profundidad máxima de 200 m, se ha optado por emplear métodos geofísicos de base geoelectrica con el fin de deducir la estratigrafía a esas profundidades. En tal sentido se realizaron Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Sus resultados fueron asociados a unidades geológicas conocidas por información de perfiles de pozos profundos desarrollados en la región. Todo ello ha permitido elaborar un modelo geológico e hidrogeológico local.

Este estudio de connotación geotérmica sienta un precedente importante debido a que se realizó dentro del polo tecnológico que el INTI posee en la localidad de Miguelete, provincia de Buenos Aires. En él se encuentran diversas instalaciones para la investigación y desarrollo de tecnologías aplicables a la industria argentina que requieren de sistemas de aire acondicionado para sus laboratorios y oficinas.

1.1 Ubicación y características del predio

El INTI se localiza al noroeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) en el partido de San Martín, provincia de Buenos Aires ($34,56^\circ$ L.S. y $58,52^\circ$ L.O). Ocupa un área de $0,19 \text{ km}^2$ y se halla limitado al este por la Colectora General Paz, al oeste por la calle Gral. N. Manuel Savio y al sur por el acceso Presidente Nestor Kirchner (Figura 1).

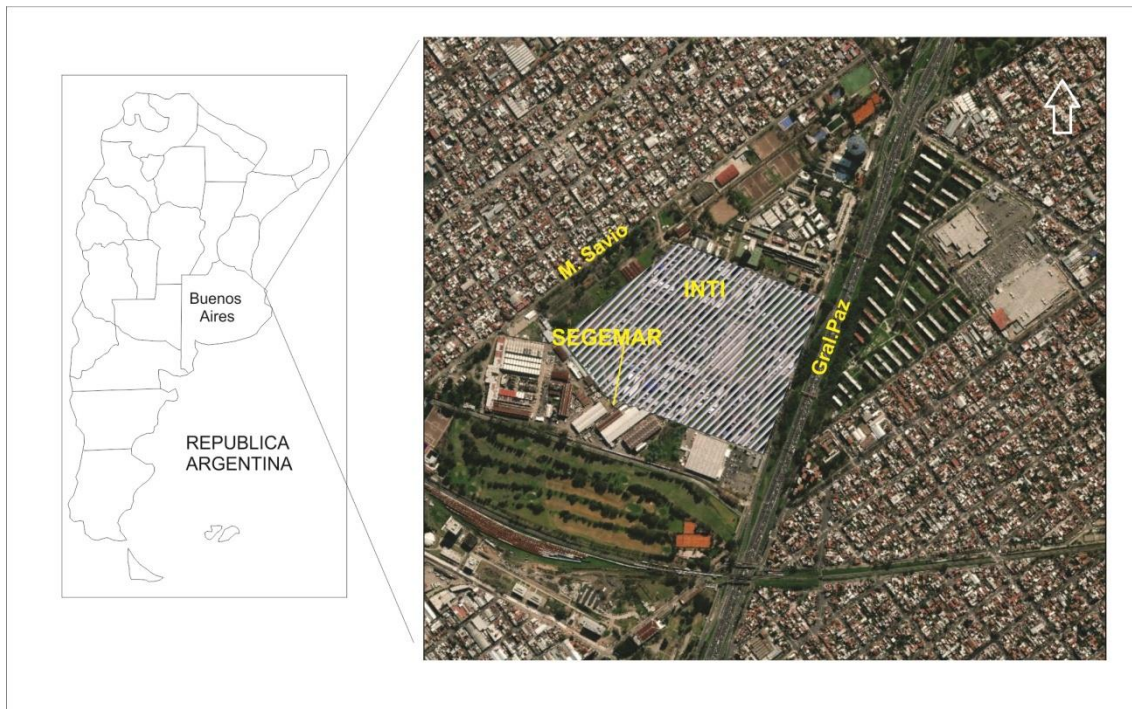


Figura 1. Ubicación del área de estudio

2 GEOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO LOCAL

La tarea inicial consistió en la compilación de antecedentes geocientíficos de la zona de trabajo y sus alrededores. Se procedió a seleccionar información hidrogeológica y geoquímica de los acuíferos existentes en la zona.

Se obtuvo información de pozos realizados en la región para conocer la estratigrafía y obtener una primera visión de la geología local. Al respecto, se tomó conocimiento de las profundidades de los techos y bases de las formaciones geológicas, como así también las características litológicas de cada unidad.

Es importante destacar que los pozos desarrollados en la región tuvieron como única finalidad capturar acuíferos relevantes para el abastecimiento de agua en la zona y hasta una profundidad máxima de 82 m. Por lo tanto, el modelo de base para la interpretación estratigráfica e hidrogeológica se acota a esa profundidad. El escenario geológico hasta los 200 m es inferido y su deducción surgió de los estudios geofísicos y antecedentes hidrogeológicos.

2.1.- Marco Geológico

La zona de estudio se halla dentro de la provincia geológica Llanura Chaco – Pampeana, limitada al sur por la Cuenca del Salado y al noreste, en territorio uruguayo, por un escalón tectónico donde aflora basamento cristalino proterozoico.

La información geológica detallada de este sector de la provincia de Buenos Aires se encuentra en Pereyra (2004; 2014; 2015).

La geología de la región presenta una secuencia sedimentaria de edad miocena a holocena, apoyada en un basamento cristalino del Proterozoico. Dicha secuencia está escasamente deformada y su depositación y procesos diagenéticos han estado controlados por las oscilaciones del nivel del mar (ingresiones - regresiones), la depositación de potentes acumulaciones de loess y la acción de procesos pedogenéticos.

En los apartados siguientes se describen las principales características geológicas, litológicas y el comportamiento hidrogeológico (hidráulico e hidroquímico) de las unidades litoestratigráficas de la región.

2.2. Estratigrafía

Para conocer la estratigrafía del subsuelo del predio del INTI y sus alrededores se analizó la información proveniente de las perforaciones vecinas, realizadas hace unas décadas por la empresa Obras Sanitarias de la Nación, las cuales alcanzan una profundidad promedio de 73 metros bajo boca de pozo (m b.b.p.) (Figura 2).

A partir de la mencionada profundidad se debió recurrir a los datos suministrados por perforaciones más profundas ubicadas cercanas al Jardín Zoológico de la ciudad de Buenos Aires (ver Anexo) que alcanzó una profundidad máxima de 310 metros.

El cuadro 1 muestra las características de construcción de las perforaciones cercanas al predio.

PERFIL GEOLOGICO N°	AÑO	PROPIEDAD	LAT	LONG	PROF. FINAL (m.b.b.p.)	COTA (m.s.n.m)	OBSERVACIONES
Perf. 1634	1973	Subsecretaría de Recursos Hídricos - Obras Sanitarias de la Nación	-34,5682295	-58,5111	56,8	17	Calle Savio y Constituyentes
Perf. 1638	1972	Subsecretaría de Recursos Hídricos - Obras Sanitarias de la Nación	-34,579426	-58,514649	75,3	20	AV. Gral Paz entre V. de la Plaza y Cuenca (Estación de tren Lynch).
Perf. 1109	1970	Obras Sanitarias de la Nación	-34,583243	-58,5483	72,7	23	Calle Dasso (N° 115) Esq. Matheu (N° 56)
Perf. 1111	1970	Obras Sanitarias de la Nación	-34,56725	-58,541125	71,5	27	Calle Riobamba (N° 77) esq. Libertad (N° 68)
Perf. 1529		Instituto de la Vivienda - La Pata.	-34,562064	-58,553123	82,2	27	Villa Ballester
Perf. 1570	1965	Obras Sanitarias de la Nación	-34,567131	-58,528889	71,95	30	Villa Maipú
Perf. 1646	1973	Subsecretaría de Recursos Hídricos - Obras Sanitarias de la Nación	-34,561351	-58,5486	79,2	42	Riobamba y Alem
Perf.1649	1974	Obras Sanitarias de la Nación	-34,585791	-58,554497	73,97	33	Calle Gonzalez entre Castro y Av. de Mayo

Cuadro 1. Perforaciones en alrededores del ámbito de estudio

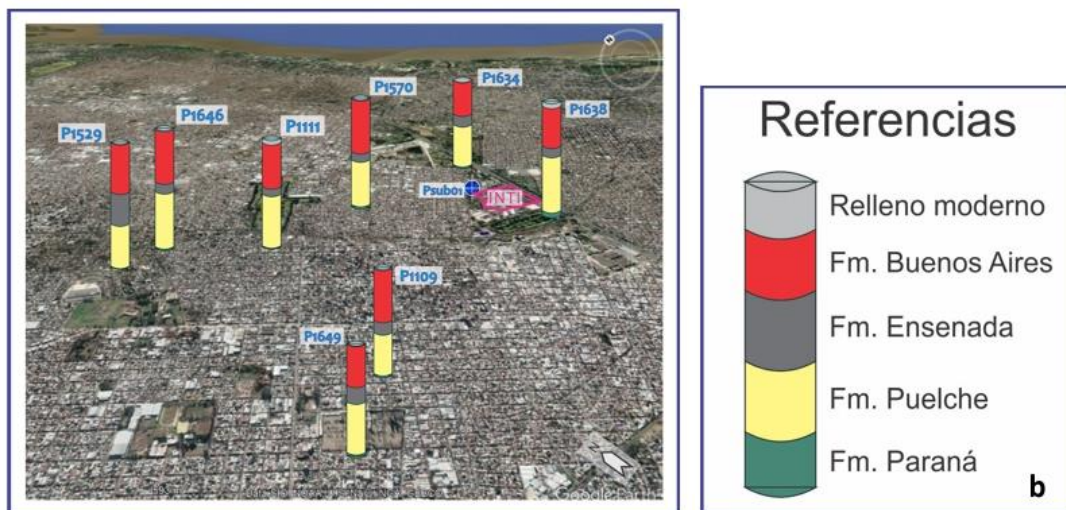


Figura 2. Imagen de ubicación de perforaciones en sitios cercanos al área de estudio. a) En planta y b) Detalle de los perfiles litológicos de cada una de las perforaciones.

2.2.1.- Formaciones Luján y Querandí (Postpampeano)

Debido a la dificultad que implica la diferenciación de estas dos formaciones y a que poseen un comportamiento hidrogeológico similar, se las agrupó en la unidad Postpampeano.

La Formación Querandí del Holoceno, es de origen marino a partir de una ingresión que alcanzó hasta la cota aproximada de 10 m.s.n.m. Son sedimentos arcillosos y arenosos finos, de tonalidades grises oscuras y verdosas, rematados por cordones de conchillas. Ocupa las llanuras de inundación de los principales ríos y la planicie costera del Río de la Plata.

La Formación Luján, es de origen fluvio-lacustre y se acumuló poco tiempo antes de la Formación Querandí.

El comportamiento hidrogeológico del Postpampeano es el de un acuífero de baja productividad y alta salinidad.

En el área de estudio estas formaciones no están presentes.

2.2.2.- Formaciones Buenos Aires y Ensenada (Pampeano)

Debido a las similitudes litológicas e hidrogeológicas que presentan estas dos formaciones se las agrupó en la unidad Pampeano, que hidráulicamente se comportan como un acuífero de baja a media productividad, constituyendo en su sección saturada el Acuífero Pampeano (Auge, 1990).

La más antigua es la Formación Ensenada (Pleistoceno inferior) y la más moderna es la Formación Buenos Aires (Pleistoceno superior). La diferencia entre ambas es más geotécnica que litológica. En ese sentido la Formación Ensenada conforma un suelo más resistente debido a su mayor concentración en CaCO_3 (denominado edafológicamente como tosca). La Formación Buenos Aires en cambio, posee una estructura más abierta (*migajosa*) debido a su origen eólico y a su menor grado de diagénesis.

En las perforaciones fueron identificadas por debajo del relleno (3 m de espesor), principalmente por su color y contenido de tosca.

Desde el punto de vista composicional la Formación Buenos Aires es un limo arcilloso, tobáceo, con abundante vidrio volcánico alterado a arcillas. Pardo claro, ligeramente rojiza con restos fósiles (espículas de esponjas, células de gramínea). También presenta una tosquilla (calcrete) fragmentada y friable. La profundidad promedio del techo es de 1,20 m.b.b.p. (26,19 m.s.n.m) y la base es de 32 m.b.b.p. (-4,7 m.s.n.m). Su espesor promedio es de 31 metros.

La Formación Ensenada es un limo arcilloso pardo claro, tobáceo, ligeramente estratificada, de color verdoso con manchas de mineral de hierro y manganeso, con frecuentes restos de microfósiles (espículas de esponjas silíceas) y conspicuos nódulos calcáreos. La profundidad promedio del techo es de 32 m.b.b.p. (-4,69 m.s.n.m) y la base es de 41,21 m.b.b.p. (-13,84 m.s.n.m). Su espesor promedio es de 9,15 metros.

Ambas formaciones presentan similar composición mineralógica, con abundantes plagioclasas mesosilíceas y básicas, seguidas por feldespatos potásicos alterados. El cuarzo no sobrepasa el 20% en la fracción arena, mientras que el vidrio volcánico es más abundante en las intercalaciones tobáceas. En cuanto a máficos predominan los anfíboles (hornblenda) seguidos por los piroxenos (hipersteno y augita) y por magnetita tintanífera (Teruggi, en Frenguelli, 1955)

Los sedimentos Pampeanos en la ciudad de Buenos Aires y alrededores (incluye el área de estudio) se emplazan en las partes más elevadas del relieve y se asocian con la geoforma Terraza Alta (Fig. 10).

El Acuífero Pampeano se recarga por infiltración directa de la lluvia y por sus propias características hidrogeológicas. Este acuífero prácticamente no se explota en la ciudad de Buenos Aires, salvo para uso de piscinas y riego de canchas para práctica de deportes en centros de recreación.

La calidad del agua, en general, es químicamente apta para consumo humano, con salinidades que se ubican por debajo de 1.000 mg/l. Predomina el tipo bicarbonatado cálcico y sódico.

2.2.3.- Formación Puelches o Arenas Puelches

Esta unidad, de edad Pliocena superior a Pleistocena inferior, es de origen fluvial y contiene al acuífero más explotado de Argentina el cual es conocido como “Acuífero Puelche”.

De acuerdo a las perforaciones aledañas al área de estudio, la Formación Puelches está constituida por arenas cuarzosas de grano fino a mediano, de bordes subredondeados, amarillo claro. Micáceas, con gravilla silíceas y muy friable. La profundidad del techo es variable, desde los 29,50 a 54 m.b.b.p. con un promedio de 41 m.b.b.p. (-13,84 m.s.n.m) y la base desde los 55,80 a 82 m.b.b.p. con un promedio de 72 m.b.b.p. (-44 m.s.n.m). Su espesor medio es de 30 metros.

La productividad del Puelche en las perforaciones es 73,4 m³/h con un caudal específico medio de 7 m³/h. Hidráulicamente se comporta como un acuífero semiconfinado.

El agua del Puelche es bicarbonatada sódica con una salinidad total menor a 1.000 mg/l, con predominio de agua apta para la mayoría de los usos.

2.2.4. Formación Paraná

Es una secuencia de arcilla arenosa, verde azul, con frecuentes manchas de hidróxido de hierro y fragmentada. Su origen es marino con abundantes fósiles.

La profundidad de su techo es variable, desde los 55,8 a 82 m.b.b.p. con un promedio de 72 m.b.b.p. (-44 m.s.n.m) y la base se desconoce debido a que, como fue explicado anteriormente, las perforaciones locales alcanzaron profundidades finales no mayores de 82 metros.

En la perforación ubicada en el Jardín Zoológico de la ciudad de Buenos Aires, la Formación Paraná se extiende entre 61,4 y 79 m.b.b.p. El espesor es variable, desde 18 m (Perforación Jardín Zoológico) a 63 m (Perforación Riachuelo N°3).

Presenta una secuencia arenosa es de color blanco a gris y contiene el Acuífero Paraná.

El origen marino de los sedimentos del acuífero hace que sus aguas presenten tenores salinos elevados, entre 10.000 y 30.000 mg/l (Auge y Hernandez 1984).

2.2.5. Formación Olivos

Conocida como “Mioceno Rojo”, se emplaza inmediatamente por debajo de la Formación Paraná mediando entre ambas una discordancia erosiva. Es de origen continental, eólica y/o lagunar de edad Oligoceno a Mioceno inferior. En la perforación del Jardín Zoológico se la describió como arcillas rojizas, margosa, con pequeñas concreciones calcáreas y fragmentos de yeso laminar, cuarzo de granos angulosos y escasos fósiles marinos. La profundidad del techo y base de la Formación Olivos se encuentran a 78,9 m.b.b.p. (-70,9 m.s.n.m.) y 291,5 m.b.b.p. (-283,5 m.s.n.m). Los últimos 8 metros de la secuencia arcillosa, entre los 269,57 m.b.b.p. (-261,5 m.s.n.m) y 291,5 m.b.b.p. (-283,5 m.s.n.m), aparecen arenas y gravillas principalmente de cuarzo junto con areniscas pardo rojiza, gránulos blancos calcáreos, fragmentos de arenisca dura arcillosa calcárea y cristales de yeso.

El comportamiento hidrogeológico de la Formación Olivos es de acuícludo en la secuencia arcillosa, mientras que las arenas y gravillas componen un acuífero de media a baja productividad, con rendimientos específicos de 5 m³/h.m. Presenta agua sulfatada y con alto tenor salino, 10.000 mg/l a 60.000 mg/l (Auge y Hernandez 1984).

2.2.6. Formación Martín García (basamento)

Son rocas metamórficas de grado intermedio (ortogneis), cuya edad de cristalización y metamorfismo fue datada por U-Pb en circones en 2.186 y 2.069 Ma, respectivamente (Chernicoff *et al*, 2015). En la perforación cercana al Jardín Zoológico de la ciudad de Buenos Aires se la halló a partir de los 291,5 m.b.b.p (-283,5 m,s.n.m).

Este basamento cristalino aflora en la isla Martín García, a 40 kilómetros de la zona de estudio y se profundiza en sentido sur hacia el eje de la Cuenca del Salado donde fallas normales llegan a posicionarlo a profundidades de más de 6.000 metros.

Perforaciones realizadas por el Servicio Geológico Nacional en el barrio de Palermo confirmaron la presencia del basamento a profundidades del orden de los 280 m.b.b.p.

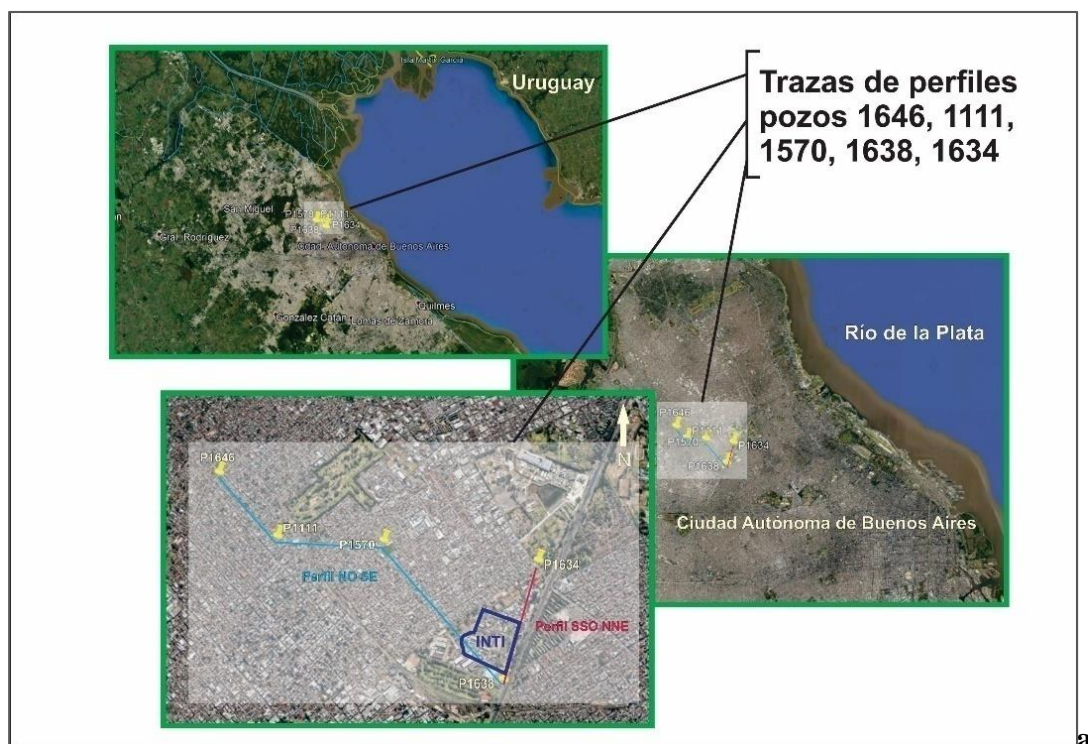
El comportamiento hidrogeológico de esta unidad es el de un acuífugo.

Para el presente estudio la ubicación del basamento cristalino dentro del predio del INTI resultó de suma importancia, debido a que su presencia a profundidades someras, rige la distribución y longitud de las sondas geotérmicas para alimentar los sistemas de bombas de calor.

2.3. Correlación estratigráfica

Con la finalidad de generar un modelo estratigráfico del subsuelo en el predio del INTI se elaboraron transectas con orientación SSO - NNE (Figuras 3).

Asimismo, se indicaron las posiciones de los filtros en cada sección de las perforaciones.



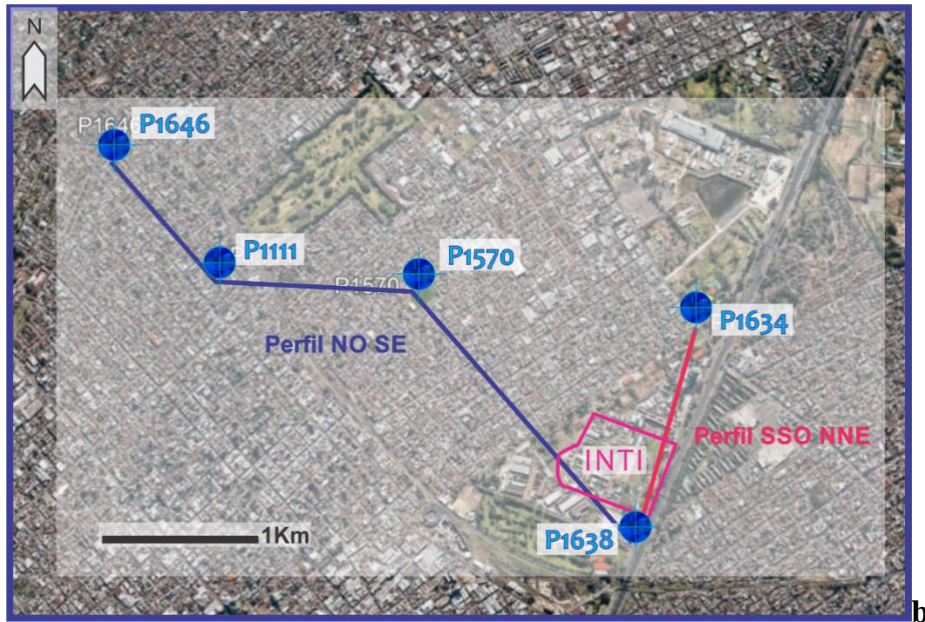


Figura 3. a. Imagen de ubicación de las transectas en el ámbito de estudio y b Detalle de las mismas.

La figura 4 muestra la correlación estratigráfica con orientación SSO-NNE. En esta sección se observa que las formaciones geológicas se profundizan progresivamente hacia el sur, con un desnivel de 4 m, coincidiendo con la geología regional de la provincia de Buenos Aires descrita en Pereyra (2004,2014 y 2015).

En las perforaciones que avalan esta sección los filtros se hallan ubicados para captar el acuífero de mayor productividad (Acuífero Puelche) a una profundidad de 49 m,b.b.p y 66 metros bajo boca de pozo.

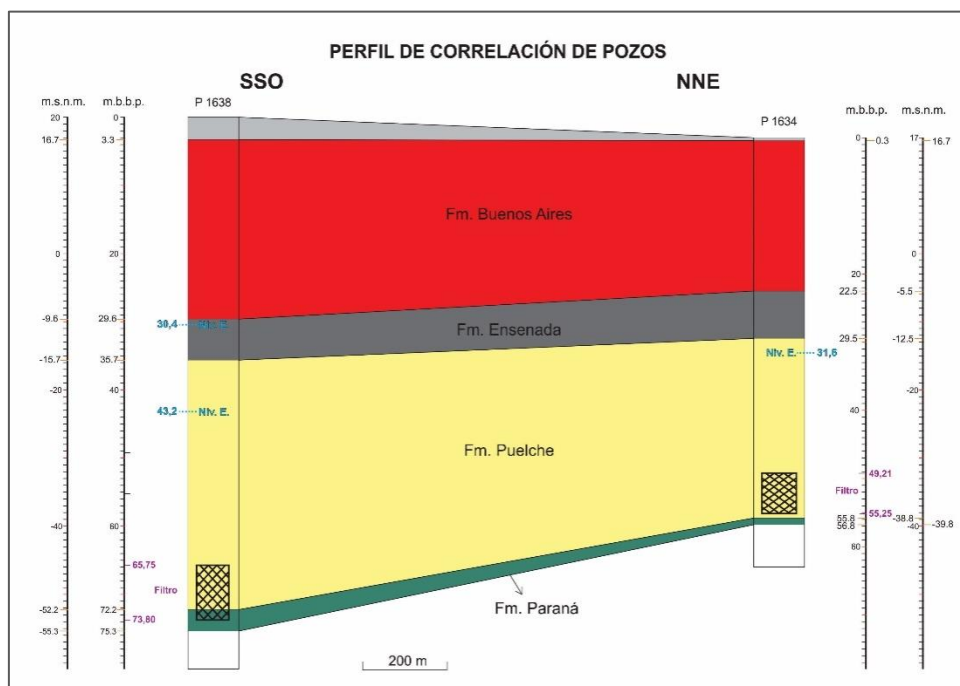


Figura 4. Correlación estratigráfica con orientación SSO-NNE en el ámbito de estudio. Nótese que las formaciones geológicas se profundizan hacia el sur.

La figura 5 muestra la correlación estratigráfica con orientación NO-SE. Se observa que las formaciones geológicas presentan un desnivel de -16 metros hacia el sureste.

Los filtros de captación de agua se ubican a profundidades de 66 m.b.b.p. a 71 metros bajo boca de pozo.

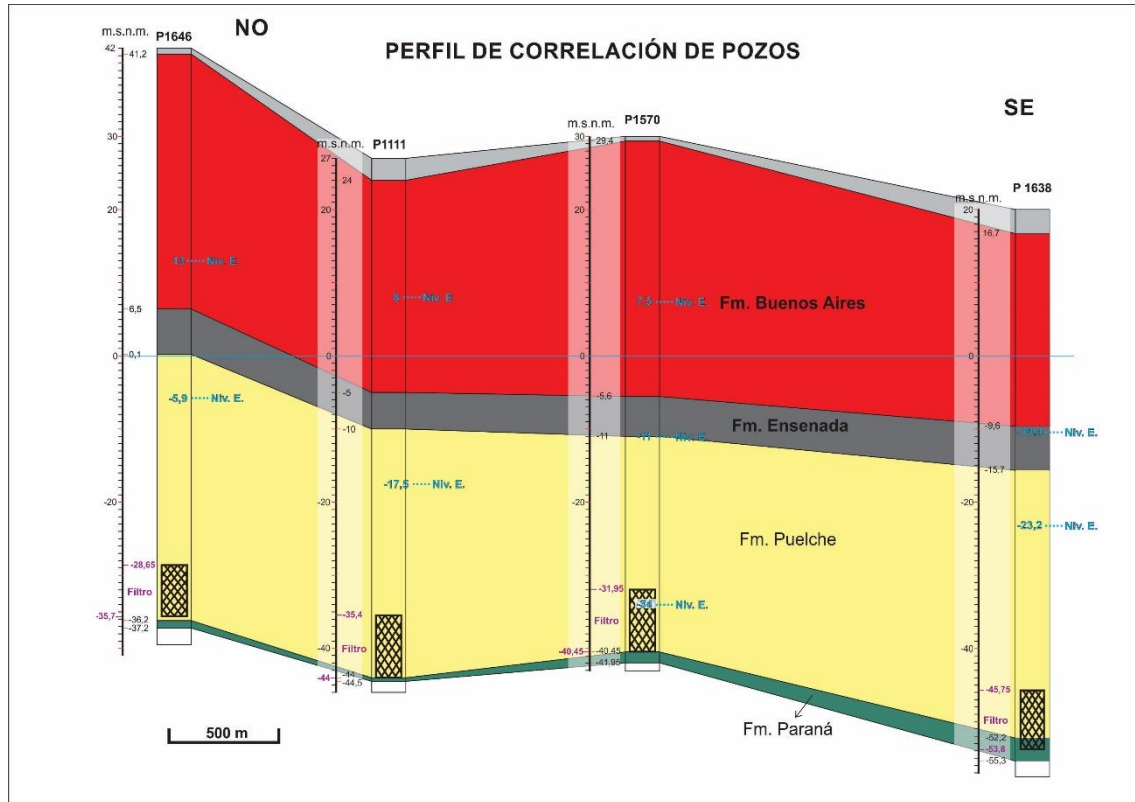


Figura 5. Correlación estratigráfica con orientación NO-SE. Nótese que las formaciones geológicas se encuentran en una posición topográfica más elevada hacia el oeste.

3.-PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Se realizó un estudio geoelectrico mediante la técnica del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) para determinar en forma indirecta la distribución en profundidad de los horizontes sedimentarios y el basamento. Como se ha descrito la información estratigráfica directa surgió de los perfiles de pozos históricos existentes en sectores próximos al predio del INTI que alcanzaron una profundidad no mayor a los 80 metros (promedio 73 m). Por lo tanto, la litología a profundidades mayores se dedujo de los resultados de la aplicación de esta técnica geofísica. De este modo, la parametrización de las electroneidades más profundas detectadas, se realizó considerando como referencia el pozo ubicado en el predio del Jardín Zoológico de la ciudad de Buenos Aires, que alcanzó los 310 m de profundidad.

3.1.- Metodología

Se realizaron tres Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en el sitio de interés, dos de ellos se ubicaron próximos a los pozos en explotación y fuera del predio del INTI, al sur (SEV01) y al oeste-noroeste (SEV02) del mismo. Y el tercero (SEV03) se situó en el interior del predio en un sitio alterado antrópicamente. Se aplicó el arreglo electródico Cuadripolo Simétrico Schlumberger, con un AB/2 que varió de los 250 m hasta los 400 metros.

El equipo de medición consistió en una fuente de energía, con un rectificador acorde para someter al tendido electródico a un campo eléctrico continuo. Se realizó las lecturas de las diferencias de potencial (pares de electrodos MN) adquiridas y las intensidades de corriente (pares de electrodos AB) inducidas en el subsuelo, mediante el empleo de dos multímetros con detalle de registro en milivolts y miliampers.

La inversión de datos se realizó mediante el empleo del programa IPI2Win con el cual se interpretó las variaciones de resistividad para crear un modelo geoelectrico del subsuelo. En las figuras 6a y 6b se puede observar la posición de los SEV. También se ha incluido la posición de los pozos en explotación actual y los que están fuera de servicio.



Figura 6a. Mapa de ubicación de los ondeos Eléctricos Verticales



Figura 6b. Detalle de la ubicación de las perforaciones estudiadas y sus proximidades con los perfiles eléctricos.

3.2.- Resultados

Las figuras 7 y 8 muestran dos sondeos representativos de una Terraza Alta (ver punto 4) con orientación oeste-este (SEV01) y otro norte-sur (SEV02). Ambos modelos presentaron un buen contraste de resistividades en todo el paquete sedimentario, siendo posible la correcta identificación de la Formación Buenos Aires y Formación Ensenada (acuífero libre) y la Formación Puelches.

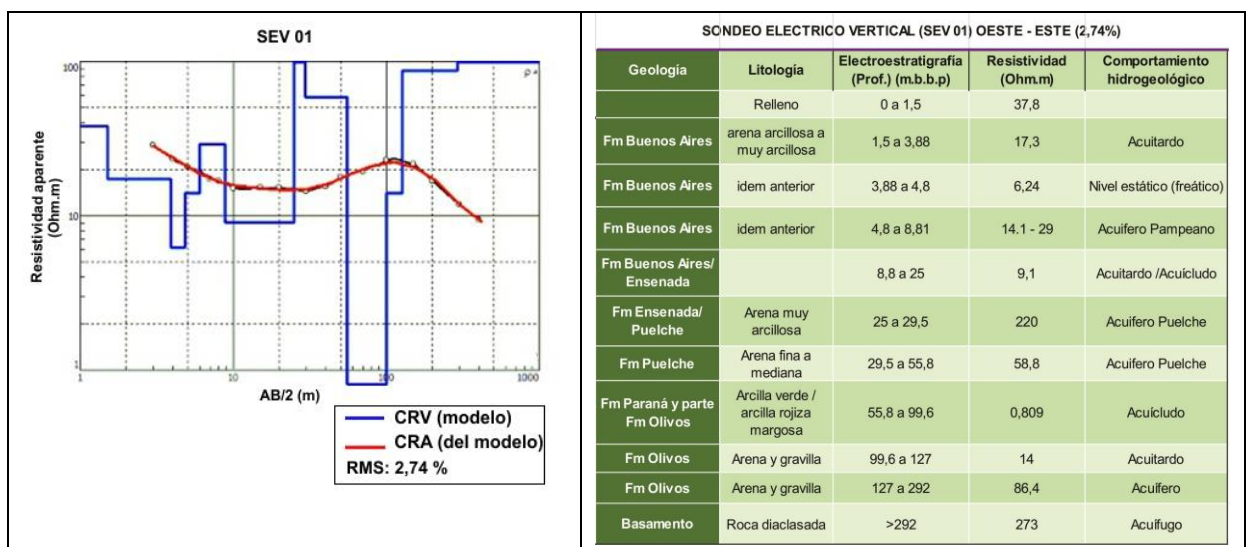


Figura 7 Sondeo eléctrico vertical (SEV 01) característico de una Terraza Alta. Se muestran las curvas medidas, el modelo de resistividades y la curva calculada. Asimismo, se muestra una tabla con los valores de las resistividades obtenidas con el modelo y la interpretación geológica e hidrogeológica.

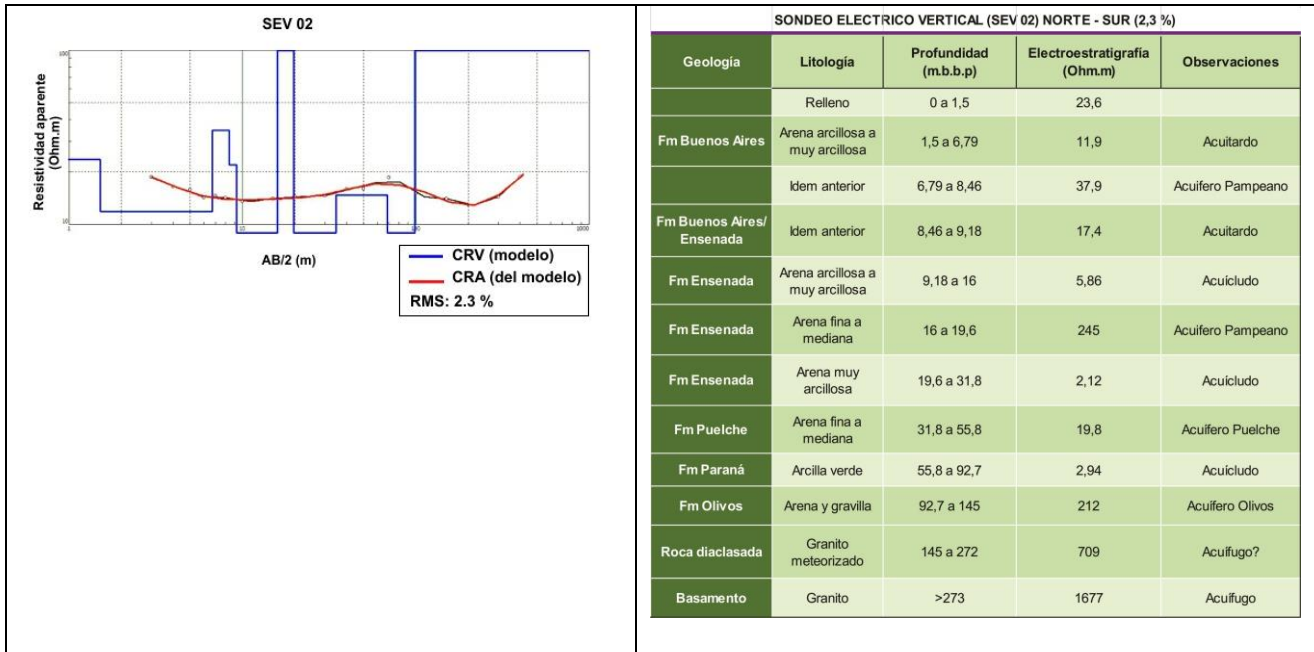


Figura 8. Sondeo eléctrico vertical (SEV 02) característico de una Terraza Alta. Se muestran las curvas medidas, el modelo de resistividades y la curva calculada. Asimismo, se muestra una tabla con los valores de las resistividades obtenidas con el modelo y la interpretación geológica e hidrogeológica.

El modelo propuesto para el SEV01 muestra una electrocapa que llega aproximadamente hasta los 9 m de profundidad con valores de resistividad de 6,24 a 29 Ohm.m que corresponde a la Formación Buenos Aires. Los últimos 4 metros de esta electrocapa (14 – 29 Ohm.m) es donde está alojado el acuífero Pampeano (libre).

Subyacente al acuífero, se observa una disminución de la resistividad (9 Ohm.m) que atañe a la zona inferior del Pampeano (Formación Ensenada). Este horizonte presenta un comportamiento de tipo acuitardo/acuícludo indicando el techo del acuífero semiconfinado de la Formación Puelche que lo subyace. El acuífero Puelche estaría entre los 25 a 29,5 m de profundidad con valores de 58,8 Ohm.metro.

Por debajo, se observa el acuícludo de la Formación Paraná con un valor de resistividad muy bajo (0,809 Ohm.m) hasta los 99,6 m. A partir de esta profundidad la resistividad aumenta. Entre los 127 a 292 metros la resistividad es de 86,4 Ohm.m y a partir de los 292 m es de ~300 Ohm.m. Estos valores de resistividades podrían asociarse a un nivel arenoso y de conglomerados pertenecientes a la Formación Olivos, que se apoyaría sobre el basamento hidrogeológico (Ver punto 2.2).

Se interpreta que el modelo de resistividad no alcanzó el basamento cristalino/hidrogeológico.

El modelo de resistividad del SEV02 consta de 5 electrocapas superiores de variada resistividad que llegan hasta los 16 m con valores entre los 6 a 38 Ohm.m correspondiente a las formaciones Buenos Aires y Ensenada. En este paquete sedimentario se pueden distinguir un nivel acuífero de 2 m a 7m de espesor, con una resistividad de 38 Ohm.m y distintos niveles de limos arcillosos (12-17 Ohm.m) y arcillas (6 Ohm.m).

A partir de los 16 m hasta los 20 m aproximadamente, se ubica el acuífero Pampeano con una resistividad de 245 Ohm.m. Entre los 20 m y 32 m, la resistividad baja significativamente a 2,12 Ohm.m debido a la presencia de arenas muy arcillosas que fueron registradas en la perforación y que actuarían como un acuícludo/acuitardo para el acuífero subyacente (acuífero Puelche).

El acuífero Puelche se ubica entre los 32 m y los 55,8 m de profundidad con un valor de resistividad de 20 Ohm.m.

Por debajo, se identifican 37 m de arcillas de la Formación Paraná con valores muy bajos de resistividad (2.94 Ohm.m) hasta los 93 metros.

A partir de los 93 m hasta los 145 m, la resistividad aumenta hasta alcanzar un valor de 212 Ohm.m correspondiente a la Formación Olivos y posible nivel acuífero observado en el modelo resistivo anterior.

De los 145 m a 272 m se observa un alto resistivo (709 Ohm.m) y a mayor profundidad >272 m, se observa el basamento con alta resistividad.

En la figura 9 se muestra el sondeo SEV03 situado en el interior del predio con una orientación norte-sur. El modelo presentó limitaciones, debido a que el terreno fue fuertemente alterado por acción antrópica. Sin embargo, se creyó necesario incluirlo en el informe debido a que es el único lugar accesible en el predio, se encuentra próximo a un pozo en explotación y los resultados son compatibles con el modelo resistivo SEV02 (Figura 6).

La profundidad de investigación alcanzó solo hasta los 20 m de profundidad con un AB/2 de 100 metros.

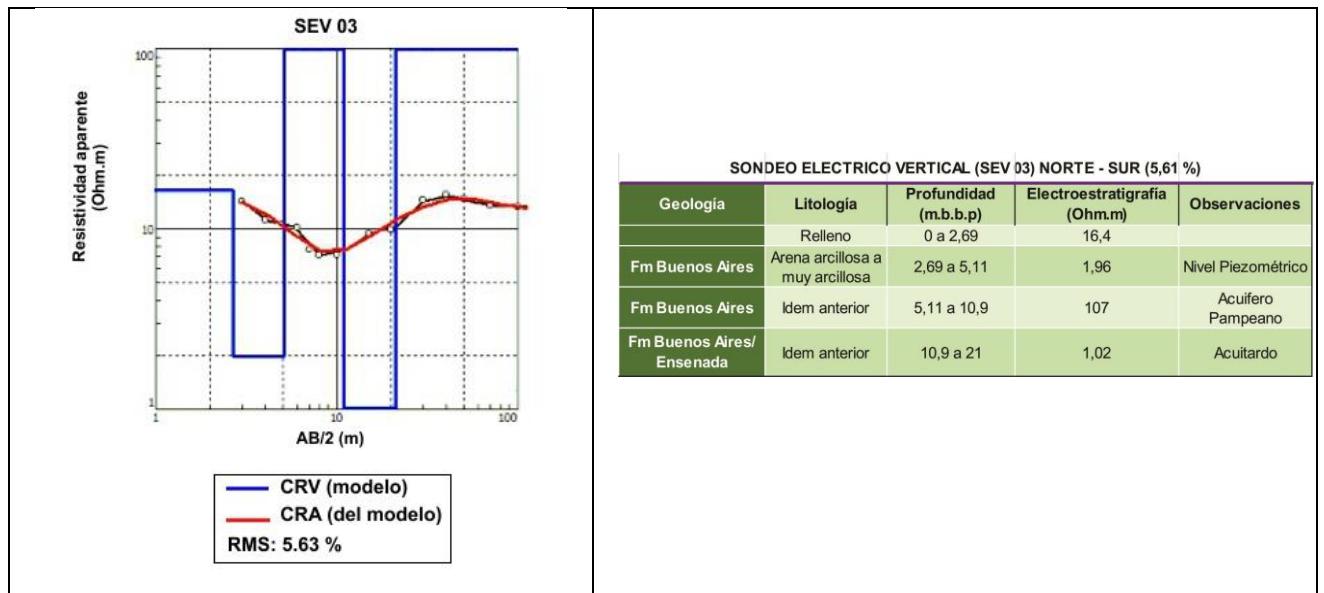


Figura 9. Sondeo eléctrico vertical (SEV 03) característico de una Terraza Alta (interior del predio). Se muestran las curvas medidas, el modelo de resistividades y la curva calculada. Asimismo, se adjunta una tabla con los valores de las resistividades obtenidas con el modelo y la interpretación geológica e hidrogeológica.

El modelo de resistividad muestra 5 electrocapas con valores variables. Los primeros 3 m con resistividad de 16 Ohm.m corresponden a un suelo removido.

Subyacente y hasta los 5 m, la resistividad baja abruptamente a 1,96 Ohm.m., debido a la presencia del nivel piezométrico (ver punto 6).

Desde los 5 m hasta los 11 m la resistividad alcanza un valor de 107 Ohm.m correspondiente al acuífero Pampeano. Por debajo se identifican las arenas muy arcillosas (1,02 Ohm.m) de la Formación Ensenada que actúan como acuitardo/acuícludo para el acuífero subyacente (acuífero Puelche).

4.- GEOMORFOLOGÍA E HIDROGRAFÍA

4.1.- Geomorfología

En la ciudad de Buenos Aires se identifican dos geoformas de origen fluvial, que controlan la composición y salinidad del agua subterránea: Terraza Alta y Terraza Baja (Auge, 2006).

La Terraza Alta se desarrolla por encima de la cota 10 m, hasta la culminación topográfica de la ciudad a la cota 27 m, en el barrio de Villa Devoto (Yrigoyen, 1993), y en ella por debajo de la cubierta edáfica se dispone el Pampeano.

En la Terraza Baja, por debajo de la cota 5 m, se presenta el Postpampeano predominantemente marino. El ensamble entre ambas terrazas (escalón) es una geoforma de restringida expresión areal y por ende, de escasa importancia hidrogeológica (Fig. 10)



Figura 10. Esquema de las geoformas dominantes en la Ciudad de Buenos Aires. Modificado de Auge (2006).

4.2.- Hidrografía

La red de drenaje de la región se halla severamente modificada por la urbanización y no existe prácticamente ningún curso fluvial que no muestre cierto grado de antropización (Pereyra, 2015). El ámbito de estudio se ubica precisamente en la cuenca del Arroyo Medrano.

El Arroyo Medrano, con un recorrido de más de 8 km se origina en el área Metropolitana (Partidos de Tres de Febrero y Caseros), y, luego de atravesar la Avenida General Paz, ingresa entubado a la Ciudad de Buenos Aires (Figura 11).

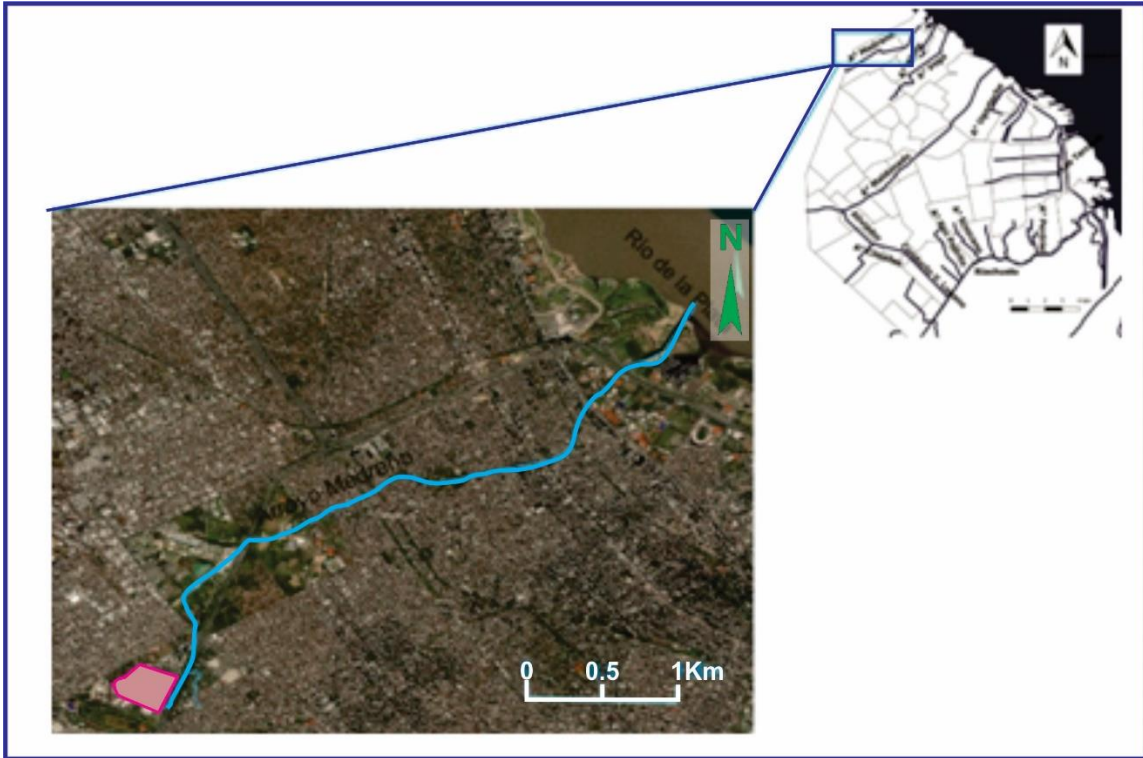


Figura 11. Esquema de ubicación del Arroyo Medrano en el ámbito de estudio. El arroyo presenta una modificación en su dirección de escurrimiento natural. El mismo se encuentra en parte canalizado (tramo que atraviesa el predio del INTI) y desviado paralelo a la colectora Gral. Paz hasta su unión con otro afluente (a la altura de la Comisión Nacional de Energía Atómica) y luego cruza hacia la ciudad de Buenos Aires (entubado) hasta su desagüe al Río de la Plata.

4.4.- Clima y Balance Hídrico

Es templado-húmedo según Knoche y Borzacov (1947). La temperatura media anual fue de 18,3°C (1991-2017) siendo enero como el mes más cálido, con una media de 25,1°C y el mes más frío, julio con 11,5°C (figura 12). La precipitación media anual fue de 1.265 mm considerando el lapso 1991-2017 (Estación Observatorio Central de Buenos Aires).

De octubre a abril se concentra el 60% de las lluvias, siendo enero, febrero y abril los meses más lluviosos con una precipitación media de 140 mm. El mes menos lluvioso fue junio, con una precipitación media de 58 mm, le continúan los meses de julio y agosto (Fig.13). Sin embargo en invierno es cuando se da el mayor exceso en el balance hídrico, debido a la notoria reducción de la evapotranspiración respecto al verano.

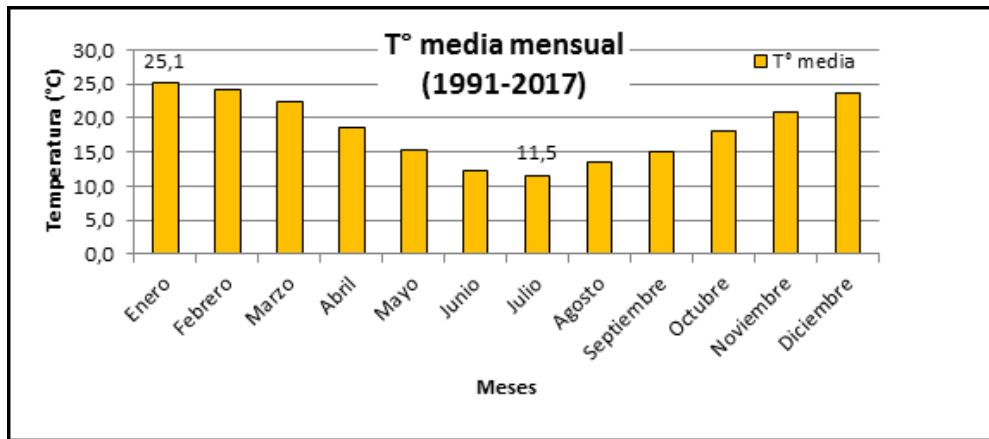


Figura 12. Temperatura media mensual para el período 1991-2017. Estación Observatorio Central de Buenos Aires perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional. Extraído de Sobrero, 2019.

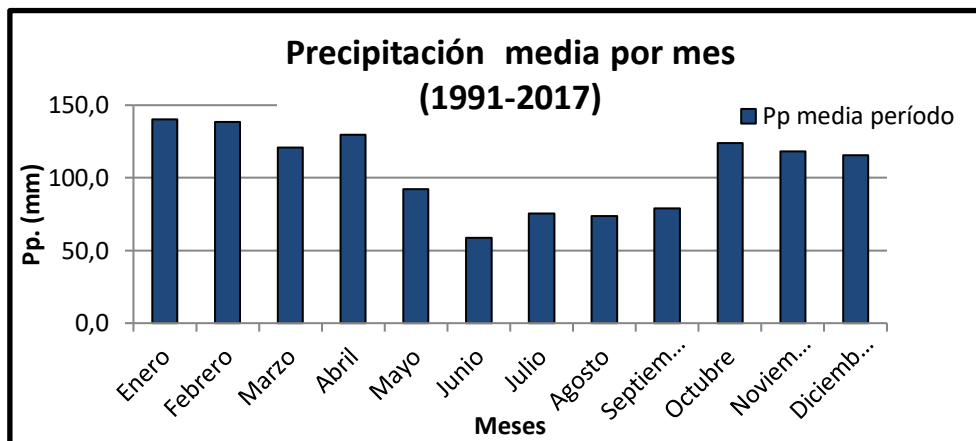


Figura 13. Precipitación media mensual para el período 1991-2017. Estación Observatorio Central de Buenos Aires perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional. Extraído de Sobrero, 2019.

Respecto al balance Hídrico edáfico según la metodología de Thornthwaite y Mather (1967), utilizando los valores medios del lapso considerado (1991–2017) y adoptando una capacidad de campo de 200 mm en función al tipo de suelo y la vegetación predominante, se tiene que la evapotranspiración real fue un 72,3% de la precipitación media (1.265 mm) de dicho período, mientras que el exceso representa el 27,6% y con un déficit de tan solo el 0,086% de la misma (Sobrero, 2017).

El déficit se da principalmente en los meses de enero y diciembre (siendo mayor en éste último) y el exceso máximo se presentó en el mes de abril. La figura 14 muestra la relación de la precipitación y la evapotranspiración real y los excesos mensuales. Este último parámetro muestra períodos relativamente prolongados durante el año.

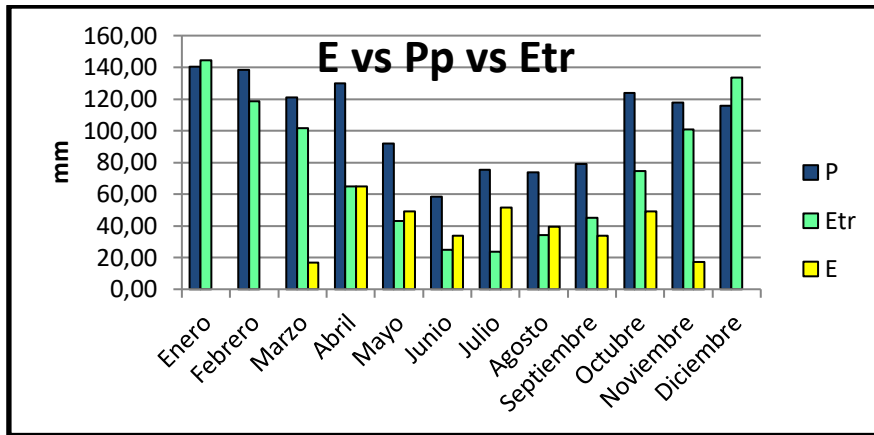


Figura 14. Exceso vs Precipitación vs Evapotranspiración real (período 1991-2017).Extraído de Sobrero, 2019.

En los espacios verdes alrededor del 20% de las lluvias se transforma en infiltración y en el resto de la ciudad existe una fuerte limitación de la misma por impermeabilización.

De este modo la magnitud del acuífero Pampeano sería del orden de 9 hm³/año en los 38 km² de espacios verdes, mientras que la escorrentía estaría en 54 hm³/a (Auge, 2006).

5.- AGUA SUBTERRÁNEA

5.1.- Metodología

En el ámbito del área de estudio se tuvo acceso a la medición del nivel piezométrico, temperatura y pH en un pozo en explotación ubicado en el interior del predio del INTI (Figura 15).

El pozo Psub.01 se halla en el extremo NNO del predio del INTI y tiene una profundidad final de 32 m, se encuentra encamisado y con filtro.



Figura 15. Ubicación del pozo censado. Psub01 en el interior del predio INTI

5.2.- Dinámica

El flujo subterráneo regional del Acuífero Puelche presenta una dirección principal hacia el NE y E, sentido al Río de La Plata, con una componente local hacia el SE, río Riachuelo (Auge2006) (Figura 16).

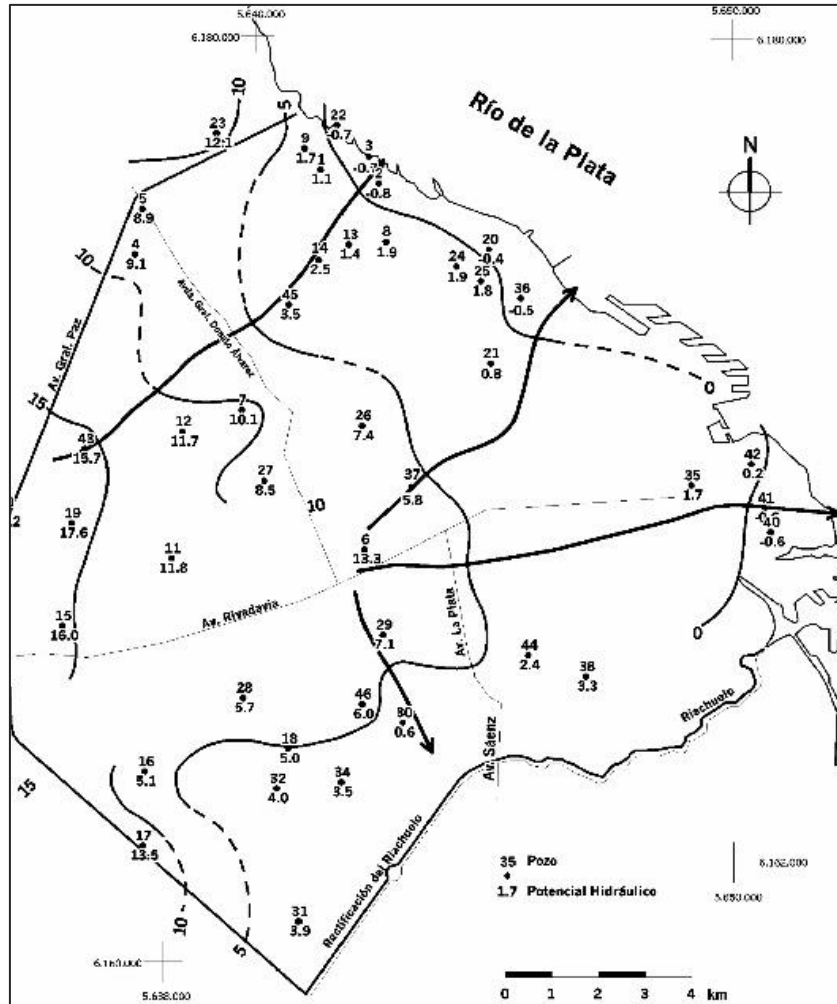


Figura 16. Red de flujo subterráneo del acuífero Puelche de la Ciudad de Buenos Aires. Extraído de Auge, 2006.

En el ámbito de estudio, la dirección del flujo subterráneo se presenta modificada debido al entubamiento del Arroyo Medrano (ver punto 4.2), y a pesar de no contar con datos suficientes para una determinación exacta, se puede asumir que la dirección podría tener una componente hacia el NE.

5.3.- Hidroquímica (Parámetros físicos)

5.3.1. Conductividad eléctrica (CE)

Regionalmente la CE del Acuífero Pampeano muestra un aumento hacia el sector SE y hacia el sector E, alcanzando sus máximos valores en la cercanía del Río de la Plata y del río Riachuelo (Terraza Baja) con valores que oscilan entre 324 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2.370

$\mu\text{S/cm}$. Hacia el oeste de la ciudad (Terraza Alta) los valores de la CE son bajos < a $1.000 \mu\text{S/cm}$.

El Acuífero Puelche presenta la misma evolución espacial regional que el acuífero libre. Los valores oscilan entre $560 \mu\text{S/cm}$ y $4.000 \mu\text{S/cm}$ en la Terraza Baja y CE menores a $1.000 \mu\text{S/cm}$ en Terraza Alta. Hacia el límite O con el conurbano de la ciudad de Buenos Aires y hacia el N de la ciudad, se observan conductividades eléctricas medias de $1.200 \mu\text{S/cm}$. (Sobrero, 2019).

En el ámbito del área de estudio, el valor de CE obtenido para el pozo Psub.01 (predio) fue de $3.000 \mu\text{S/cm}$.

5.3.2. Temperatura

La figura 17 muestra la variación de la temperatura del agua subterránea medida en perforaciones distribuidas en la ciudad de Buenos Aires (Sobrero, 2019).

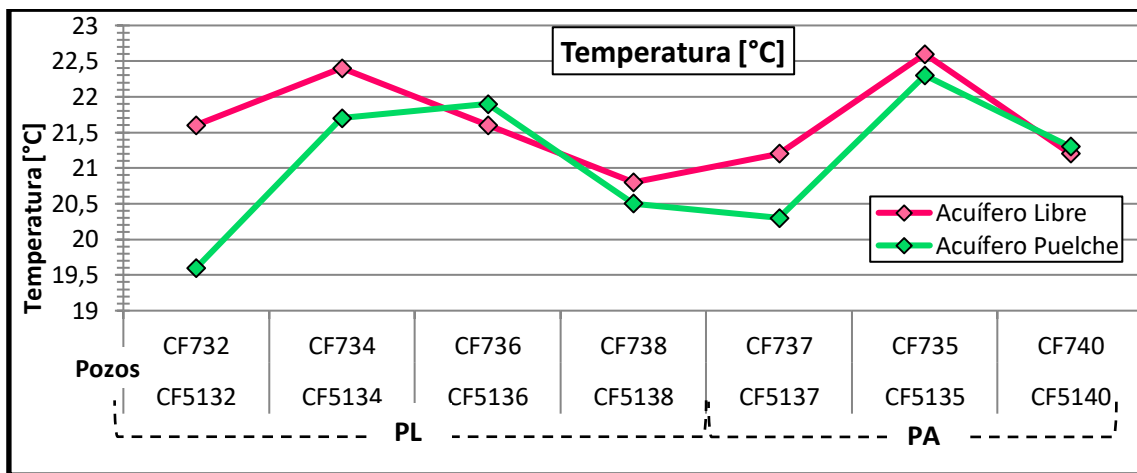


Figura 17. Temperatura (°C) medida en boca de pozo para el acuífero Puelche y el Pampeano (campana 2018). Extraído de Sobrero, 2019.

Se observa que las máximas temperaturas (T°) registradas en cada acuífero son de $22,6^\circ\text{C}$ (libre) y $22,3^\circ\text{C}$ (Puelche). Ambas fueron registradas en la Terraza Baja (próximo al río Riachuelo). En la Terraza Alta (oeste-centro y NO de la ciudad de Buenos Aires) las T° mínimas halladas fueron de $20,8^\circ\text{C}$ (libre) y de $19,6^\circ\text{C}$ (Puelche).

En cuanto al pH regionalmente el valor medio para el Acuífero Puelche es de 7,5 y 6,76 bajo la condición de acuífero libre.

6.- CONCLUSIONES

Los modelos de resistividad propuestos se ajustaron con la geología del subsuelo interpretada a partir de las perforaciones:

- El modelo ubicado al sur del predio del INTI (SEV01) demostró que las formaciones geológicas y por ende los acuíferos, están a mayor profundidad que los que se localizan al oeste. El modelo de resistividad ubicado al oeste del predio (SEV02) mostró un resistivo importante a los 145 m de profundidad, no evidenciados en el modelo del SEV01.
- La electrostratigrafía indicaría que hasta los 145 m de profundidad se encontrarían sedimentos no consolidados y por debajo de los mismos

(principalmente hacia el oeste) se observa una resistividad que correspondería a un sedimento consolidado o vestigios del basamento.

A modo de síntesis, se muestra un esquema del modelo del subsuelo ajustado a los perfiles geológicos de las perforaciones hasta una profundidad promedio no superior a 80 m y la respuesta de resistividades obtenidas por la geoelectrónica. Las profundidades subyacentes fueron definidas por interpretaciones de los modelos geoelectrónicos obtenidos y ajustadas al pozo del Jardín Zoológico (Figuras 18). La perforación del Jardín Zoológico se halla a 9 km del predio del INTI.

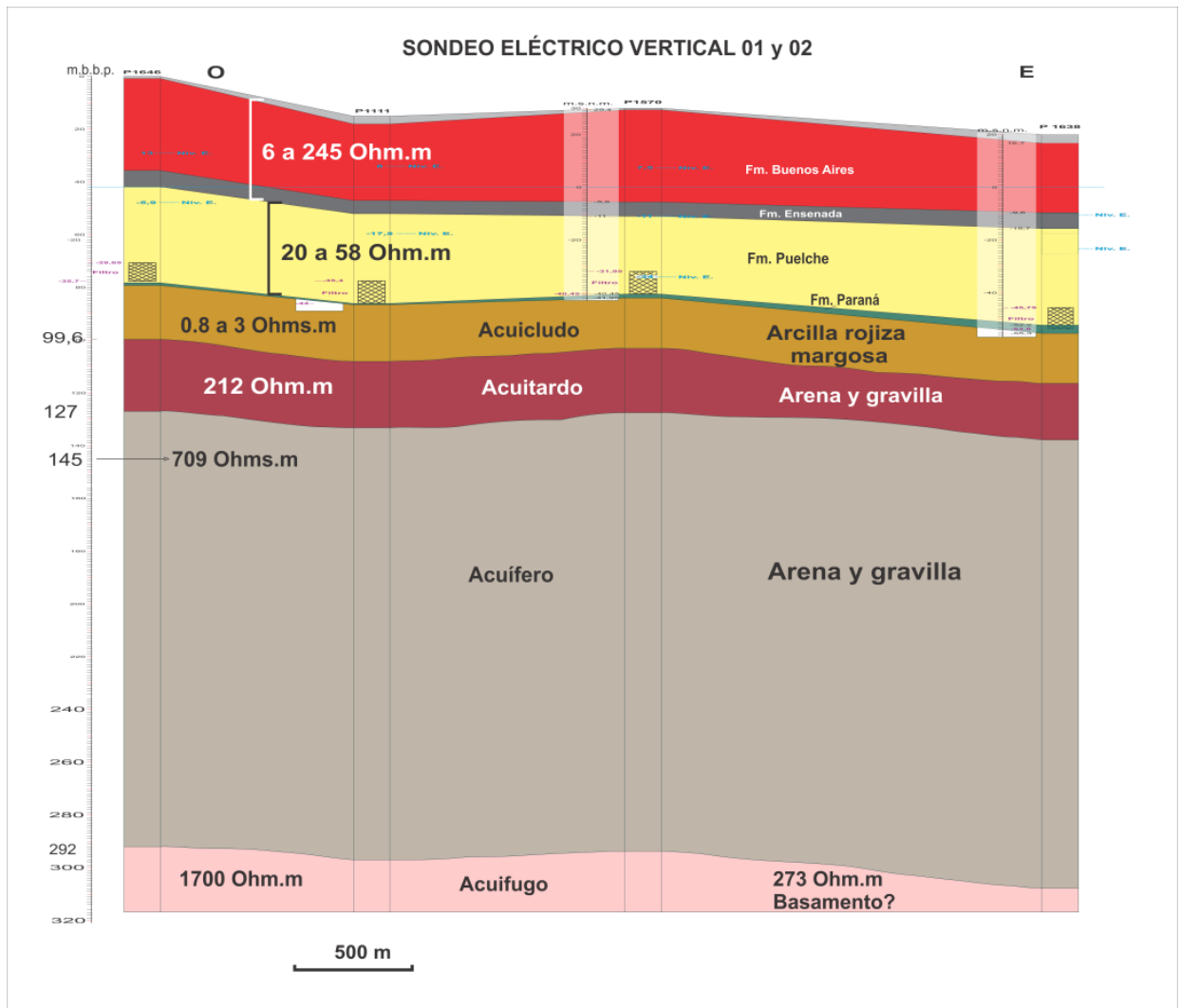


Figura 18. Correlación litológica y resistividad eléctrica. Nótese que las formaciones geológicas se detectaron en una posición topográfica más elevada hacia el oeste y con profundización hacia el sur y posiblemente hacia el este. De este modo el modelo geoelectrónico (SEV01) con orientación E-O y ubicado al sur del predio del INTI no alcanzó el basamento. El SEV02 con orientación N-S ubicado al oeste del predio si alcanzó el basamento registrándose un valor de resistividad de 1700 Ohm.m. Así mismo, en este mismo modelo, se observó un material muy resistivo a los 145 m con un valor de 700 Ohm.m.

- Los acuíferos someros se hallarían a una profundidad de 5 a 25 m con un espesor de 4 a 5 m (acuífero Pampeano) y resistividades de 29 a 245 Ohm.m. El techo del acuífero Puelche se ubicaría a partir de los 21–29 m hasta los 55,8 m de profundidad, con resistividades de 19 a 58 Ohm.m y espesores de 26 a 20 metros.

- Se detectaron niveles de acucludos, acuitardos y acuíferos más profundos correspondientes a las Formaciones Paraná y Olivos a profundidades de 55,8 m; 93 m y 127 m con resistividades de 0,809 – 2,94 Ohm.m; 14 Ohm.m y 212 Ohm.m respectivamente.
- La temperatura de los acuíferos es de 19 °C para el Puelche (semiconfinado) y de 21°C para el Pampeano (libre) y la CE es menor a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la Terraza Alta en ambos casos.
- Respecto al pH, el acuífero Puelche es más alcalino que el libre.

7.- REFERENCIAS

Auge, M, Hernandez, M.A., 1984. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Coloquio Internacional de Hidrología de Grandes Llanuras. UNESCO (III): 1019-1043. París.

Auge, M.P., 1990. Aptitud del agua subterránea en La Plata, Argentina. Seminario Latinoamericano sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Actas: 191-201. Buenos Aires.

Auge, M.P, 2006. Hidrogeología de la ciudad de Buenos Aires. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribución Técnicas, Ordenamiento Territorial 6, 42p. Buenos Aires.

Chernicoff, C.J., Pereyra, F., Santos, J.O.S., Zappettini, E.O., 2015. Primeras edades U-Pb SHRIMP del Cratón Río de La Plata en el subsuelo del área metropolitana de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 72 (4): 575 – 577.

Knoche, W., Borzacov, V., 1947. Provincias climáticas de la Argentina. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA. Tomo VI: 140-174. Buenos Aires.

Pereyra, F.X., 2004. Geología urbana del área metropolitana bonaerense (AMBA), Argentina y su influencia en la problemática ambiental. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribución Técnicas, Ordenamiento Territorial 4, 73 p. Buenos Aires. En: <https://repositorio.segemar.gob.ar/handle/308849217/2492>

Pereyra, F.X., 2014. Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (3):445-467

Pereyra, F.X., 2015. Buenos Aires develada: el medio natural del AMBA. Funcionamiento, incidencia y estado actual. Universidad Nacional de Avellaneda. Ediciones, 240 p. Buenos Aires. ISBN 978-987-29292-8-2.

Sobrero, L., 2019. Caracterización del recurso hídrico subterráneo de la ciudad de Buenos Aires. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Avellaneda. Inédita.

Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publication in Climatology, Drexel Institute of Technology, Vol. 10 (3): 185-311.

Yrigoyen, M., 1993. Morfología y geología de la ciudad de Buenos Aires. Evaluación e incidenciageotécnica. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Actas. Vol. VII: 7-38. Buenos Aires.

ANEXO

