

PROSPECCIÓN GEOELECTRICA CON FINES HIDROGEOLOGICOS.

Trenque Lauquen

Provincia de Buenos Aires

MARZO 2025

Con motivo de atender el requerimiento de la Municipalidad de Trenque Lauquen, durante el mes de febrero de 2025 se realizó un estudio de prospección geofísica expeditiva a los efectos de poder estimar, de manera indirecta, los espesores de agua existentes en lentes secundarias que permitan generar el aporte de caudales necesarios sobre la Zona Norte del municipio, más precisamente en el área denominada "Ampliación Urbana" (Figura 1).



Figura 1: Área de Estudio. Zona Norte TL.

El objetivo de este estudio es la caracterización eléctrica del subsuelo en la zona mencionada en base a la distribución de resistividades eléctricas en donde se busca identificar las características de los sedimentos del subsuelo con fines hidrogeológicos.

El método geoelectrico y la metodología empleada resultan adecuados para identificar contrastes de resistividad que puedan presentar las distintas formaciones presentes en el área de estudio. De acuerdo a su naturaleza, estos contrastes pueden indicar cambio de litología y/o en las condiciones hidroquímicas del agua almacenada en el medio.

METODOLOGIA

Siguiendo el objetivo planteado se midieron ocho (8) sondeos eléctricos verticales en la modalidad Schlumberger (SEV), con espaciado del circuito de emisión (AB) máximo de 200 metros.

El método empleado consiste en materializar en el terreno un dispositivo tetrapolar lineal y simétrico respecto de un origen. El trabajo de campo consiste en obtener valores de resistividad aparente a partir de hacer circular una corriente I por el circuito de emisión y medir la diferencia de potencial V que se genera entre los electrodos de recepción.

En base a esto se obtiene cada valor de resistividad aparente (en Ohm m), según la expresión:

$$\rho_{ap} = K \frac{\Delta V}{I}$$

donde K es la constante geométrica del dispositivo que tiene en cuenta la disposición del tetrapolo en el terreno.

Los SEV suponen que el subsuelo se comporta como una sucesión de capas horizontales y homogéneas, contemplando una variación de la resistividad con la profundidad debajo del punto sondeado. Cada valor calculado de la resistividad aparente se asigna a la distancia $AB/2$ en metros y se gráfica en escala bilogarítmica.

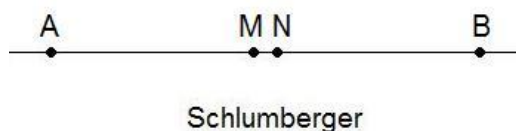


Figura 2. Diagrama del dispositivo de medición utilizado. En los puntos A y B se inyecta corriente continua y se mide la caída de tensión producida entre las posiciones M y N.

El dato de campo (curva de resistividades aparentes) debe ser invertido para obtener una distribución de resistividades en profundidad que satisfaga matemáticamente la curva de respuesta observada dentro de una banda dada por el error experimental. Para obtener esa distribución de resistividades en profundidad se utilizan variadas técnicas matemáticas que se mencionan más adelante.

AREA DE ESTUDIO

Los antecedentes bibliográficos consultados destacan que el abastecimiento se realiza a través de perforaciones ubicadas en la zona norte de la ciudad, que fueron construidas entre 1977 y 1980, con profundidades entre 50 y 30 m y caudal inicial de extracción de 25 y 20 m³/h respectivamente. Otra decena de perforaciones se realizaron en el año 2000 y 2004, con profundidad de 20 m y caudal inicial promedio de 5 m³/h. Actualmente el caudal promedio en toda esta zona norte es 3.8 m³/h por pozo.

La fuente de provisión principal de la ciudad se localiza en Mari Lauquen, 25 Km al sudoeste de Trenque Lauquen, donde se encuentra una importante lente de agua dulce. La explotación se realiza a través de varias perforaciones que extraen un caudal promedio de 16 m³/h por pozo, y se encuentran conectadas a través de un acueducto que finaliza en un depósito subterráneo.

Un área de explotación ubicada en el paraje El Mate, próxima a Trenque Lauquen cuenta con perforaciones, prácticamente fuera de funcionamiento porque extraen agua con elevada salinidad.

En la Figura 3 se muestra la extensión del área de interés, que abarca unas 90 hectáreas. Los sondeos fueron distribuidos según se muestra en la figura para cubrir el área de interés, y las coordenadas se indican en grados decimales (ver Tabla 1).

SEV	LATITUD	LONGITUD
TL1	-35.954046°	-62.742630°
TL2	-35.952255°	-62.738565°
TL3	-35.953289°	-62.740770°
TL4	-35.950697°	-62.736218°
TL5	-35.950341°	-62.733587°
TL6	-35.949876°	-62.733880°
TL7	-35.951971°	-62.726279°
TL8	-35.951897°	-62.752697°

Tabla 1. Ubicación SEVs. Coordenadas geográficas.



Figura 3. El área de interés se desarrolla al norte de la ciudad de Trenque Lauquen, en la provincia de Buenos Aires.

GEOLOGÍA

En el área de estudio se reconoce la presencia de las unidades hidrogeológicas Postpampeano, Pampeano y Araucano.

El Postpampeano presenta una gran continuidad areal, se denomina Médano Invasor

y está conformado por arenas finas y limos arenosos de origen eólico, de espesor máximo 20 m. La elevada permeabilidad de los médanos favorece la infiltración y por ende la recarga, lo que deriva en lentes de agua freática de baja salinidad. Estas lentes de agua dulce, que no sólo se emplazan en los médanos sino también en la sección superior de los Sedimentos Pampeanos subyacentes, constituyen la única fuente segura para la provisión de agua potable.

El Pampeano está formado por limos arenosos finos, algo arcillosos, con concreciones calcáreas, también de origen eólico, pero en forma de loess. Su comportamiento está definido como acuitardo de baja permeabilidad, dentro del cual se desarrollan lentes de mediana permeabilidad portadoras de niveles acuíferos productivos. La salinidad manifiesta una acentuada zonación lateral y vertical. La sección superior es la que posee menor contenido salino, fundamentalmente cuando está cubierta por médanos. La abundancia de vidrio volcánico hace que el agua subterránea pueda presentar altos tenores de flúor y en algunos casos de arsénico.

El Araucano está integrado por areniscas arcillosas con cemento calcáreo y abundante yeso. Se comporta como acuífero de baja productividad, el agua tiene elevada salinidad (mayor de 5 g/l) y es de tipo sulfatada. Esto limita su aprovechamiento a la provisión para el ganado.

INSTRUMENTAL

Para la medición de la resistividad aparente se utiliza un resistivímetro digital, que trabaja con un transmisor de corriente continua conmutada y voltímetro que registra el potencial eléctrico generado.

El transmisor tiene una potencia máxima de 500 W alimentado con una batería de 12V. Tiene la capacidad de inyectar una corriente máxima de 5.0 A con una precisión de 0.1%.

El receptor de 10 canales tiene una alta impedancia de entrada ($20M\Omega$) y un voltaje de entrada de $\pm 20V$ (ajustable por el usuario). Posee un filtro de 50Hz a la entrada y una precisión de 0.1%.

En cada ciclo de inyección de corriente (Fig. 4) el instrumento realiza sucesivas mediciones y luego efectúa el promedio de las mismas, obteniendo una estimación de la desviación estándar de cada dato.

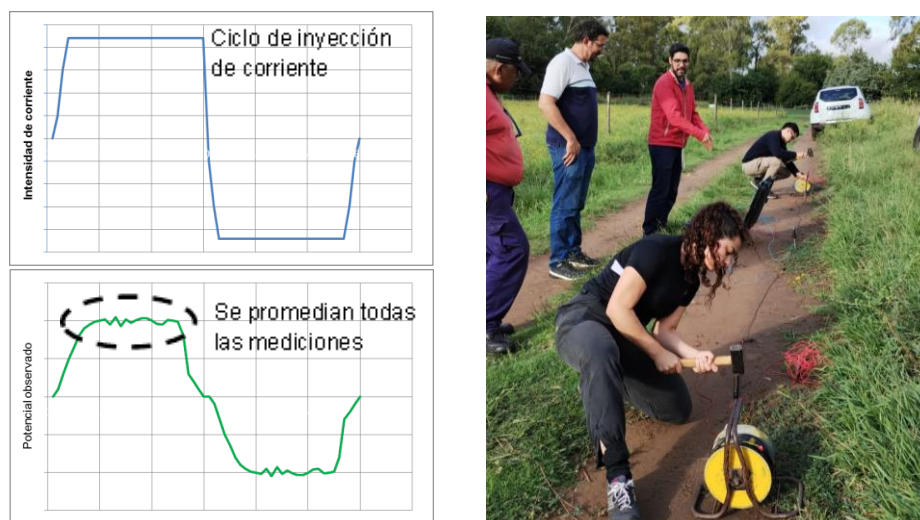


Fig. 4. Esquema de un ciclo de conmutación de corriente. Durante el pulso de inyección de corriente se realizan sucesivas mediciones del potencial producido y se efectúa un promedio y se puede estimar el error en cada lectura.

Se utilizaron electrodos de acero inoxidable para la inyección de corriente y electrodos de cobre para la medición de potencia.

SECUENCIA DE PROCESAMIENTO E INTERPRETACION SEV

El procesamiento de las curvas se hizo utilizando el programa SEVs para medios estratificados horizontales, que consiste en la obtención de un modelo inicial según Zohdy, reducción del número de parámetros del modelo, ajuste manual interactivo, y evaluación de los rangos de equivalencia del modelo e inversión con información a priori.

En todos los casos la obtención de la respuesta del modelo se obtuvo convolucionalmente, utilizando para ello el operador lineal de Johansen, que trabaja en un muestreo de la transformada de resistividad de 10 puntos por década logarítmica y tiene una longitud de 141 coeficientes, al que se consideró suficiente para evaluar curvas de contrastes resistivos como las que se presentan en la zona.

RESULTADOS SEV

Las curvas registradas son de buena calidad sin la presencia de saltos significativos. Presentan marcado contraste en las resistividades aparentes, con valores medidos entre 350 y 1 Ωm . Son curvas suaves y es posible distinguir que todas presentan el último tramo de la curva descendente, indicativo de que se alcanzó una capa de baja resistividad.

La descripción de los modelos y de los perfiles geoelectricos corresponde a un análisis cualitativo sobre la correspondencia y similitud entre los sondeos. Se propone una asignación litológica e hidrogeológica en función de los rangos de resistividad y los antecedentes bibliográficos de zonas próximas. Las curvas fueron interpretadas con el mínimo número de capas que garantizara que la diferencia entre la respuesta del modelo y los datos sea mínima e inferior al 5%.

Modelos de resistividad verdadera

A continuación, se describen dos modelos de resistividad verdadera propuestos para SEV registrados en la zona. En los gráficos se observan la curva de campo, el modelo propuesto (trazos rectos) y la curva calculada. En forma de tabla se indican los valores cuantitativos de profundidad y resistividad “verdadera” del modelo.

TL 3

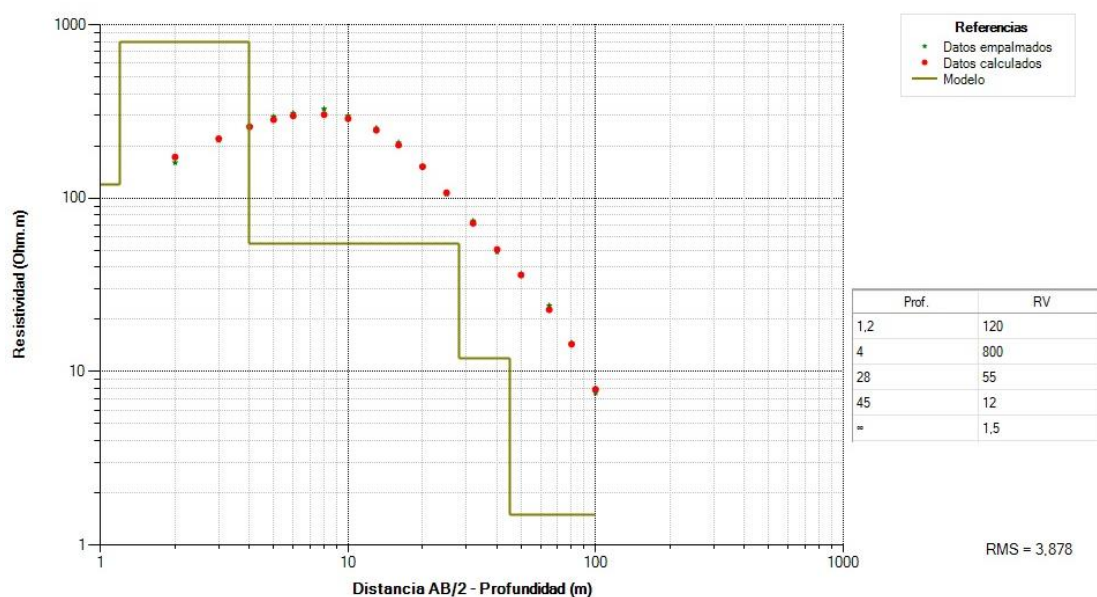


Fig. 5. Curva de campo, curva calculada y modelo propuesto. El error de ajuste es de 3.88%.

1. Las primeras dos electrocapas corresponden a la parte más superficial del subsuelo, presentan un espesor aproximado de 4 m y alta de resistividad (120 y 800 Ωm).
2. La siguiente capa presenta una resistividad de 55 Ωm , y un espesor total de 24 m aproximadamente, y estaría representado el comportamiento de los sedimentos arenosos descriptos en los antecedentes. Esta sería una capa de interés prospectivo.
3. Desde los 28 hasta los 45 m se desarrolla una electrocapa de 12 Ωm que estaría representando a sedimentos limosos que contienen al acuífero freático. Esta sería una capa de interés prospectivo.
4. La última electrocapa presenta una resistividad de 1.5 Ωm , esta disminución de la resistividad podría atribuirse a un aumento en la conductividad eléctrica del agua subterránea y a la presencia de material arcillosos.

TL 7

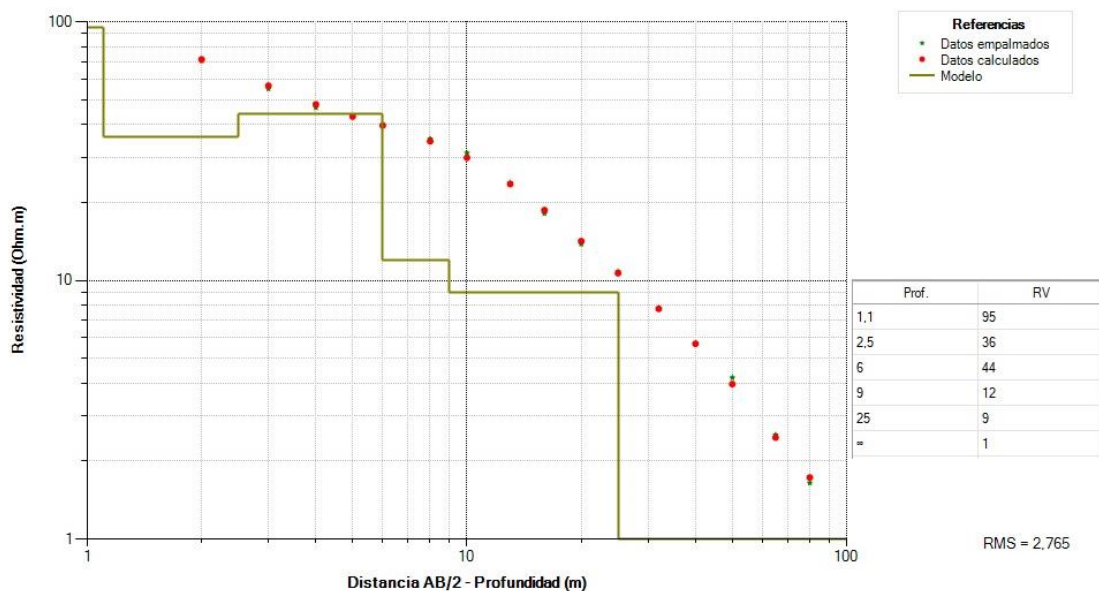


Fig. 6. Curva de campo, curva calculada y modelo propuesto. El error de ajuste es de 2.76%.

1. Las primeras tres capas presentan valores de alta resistividad (95, 36 y 44 Ωm), con un espesor de 6 m aproximadamente.
2. Luego se observa una electrocapa de 12 Ωm que se desarrolla hasta los 9 m de profundidad. Esta estaría representando a los sedimentos limoarenosos del Pampeano y estaría caracterizando la parte superior del acuífero freático.
3. Desde los 9 hasta los 25 m de profundidad se desarrolla una electrocapa de 9 Ωm , que estaría caracterizando la variación vertical de conductividad eléctrica (salinidad) del acuífero.
4. Por último, se observa una electrocapa de 1 Ωm y esta disminución de la resistividad podría atribuirse a un aumento en la conductividad eléctrica del agua subterránea y a la presencia de arcillas en los sedimentos.

Perfil

Este perfil sigue una orientación suroeste – noreste e integra todos los modelos de los ocho SEV que se encuentran distribuidos en el área de estudio. En la escala vertical se indica la profundidad en metros y en escala de colores los diferentes valores de resistividad (Fig. 7).

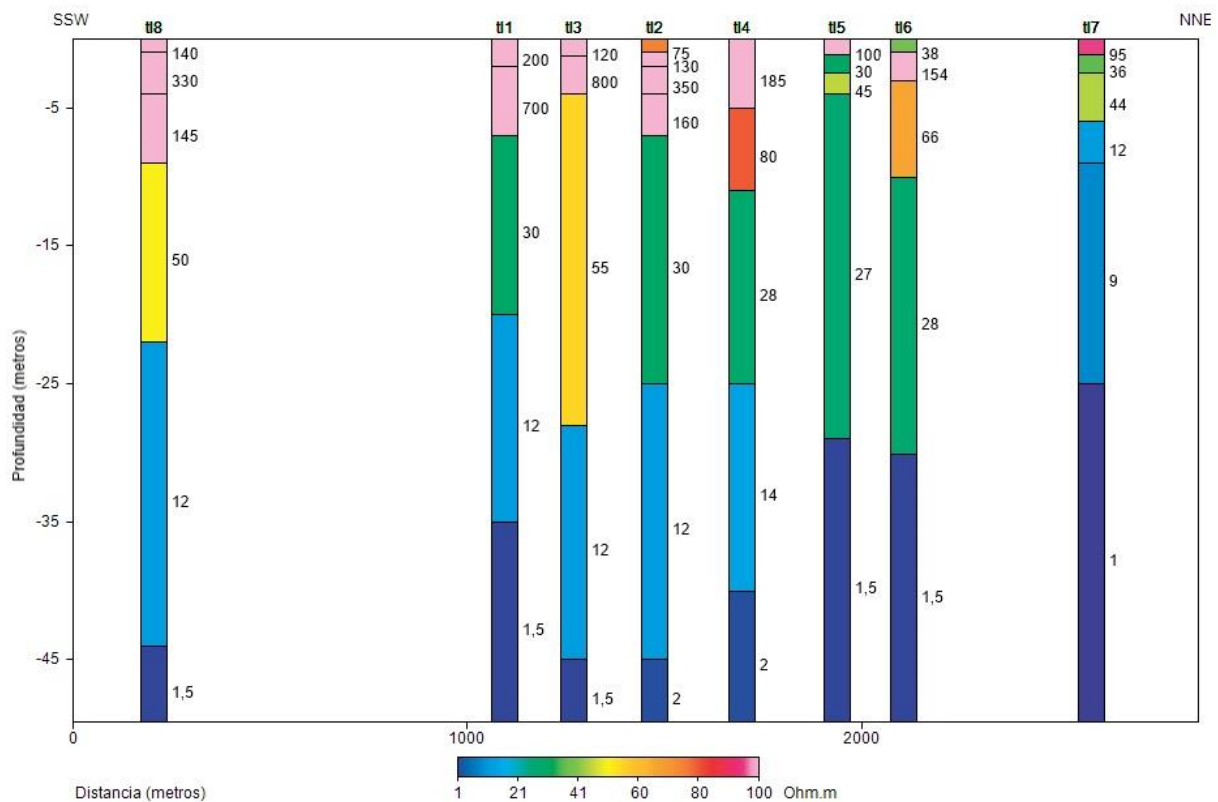


Fig. 7. Se muestra todos los modelos integrados en el perfil.

Se observa una buena correspondencia en el número de capas y en los valores de resistividad de las mismas para todos los SEV que integran este perfil. En general se observa que la resistividad disminuye con la profundidad. Las primeras capas de alta resistividad estarían indicando el comportamiento resistivo de la zona no saturada. La última electrocapa de baja resistividad (1.5 a 2 Ω m) indicaría un aumento marcado de la conductividad eléctrica del agua subterránea (mayor salinidad) y la presencia de arcillas, por ambas razones resulta el límite inferior de la profundidad de interés. El techo de esta capa varía entre 25 m (TL7) y 45 m aproximadamente en TL8, TL2 y TL3.

Las capas de interés prospectivo presentan resistividades intermedias (10 a 100 Ω m) y estarían caracterizando los sedimentos arenosos y limoarenosos de los Sedimentos Pospampeanos y Pampeanos respectivamente. Se observan leves variaciones en la profundidad y espesor de cada capa, y los cambios en los valores de resistividad podrían indicar cambios en la granulometría y la conductividad eléctrica del agua subterránea.

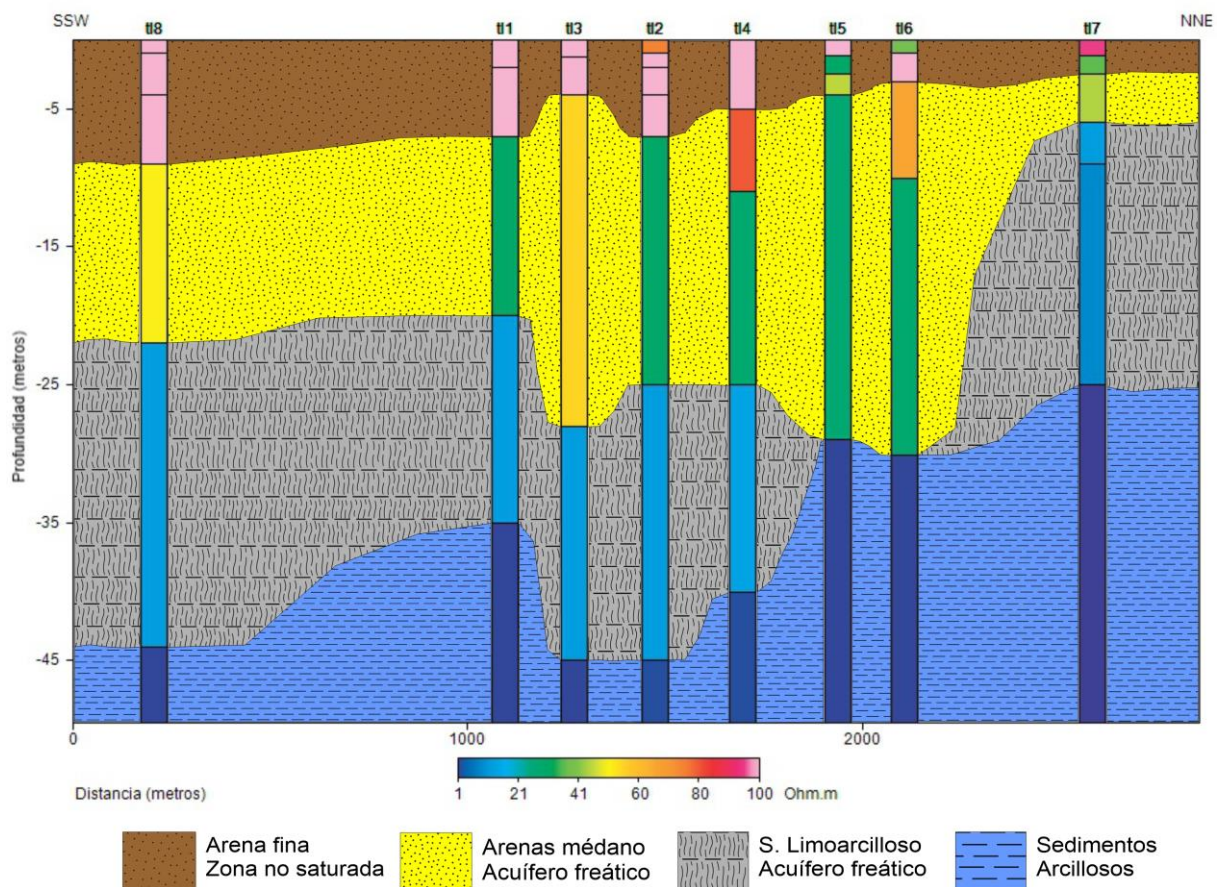


Fig. 8. Interpretación hidrogeológica del perfil.

A partir de los resultados se presenta un mapa de valores de espesor estimado para la electrocapa atribuida a las arenas del médano que tendrían las mejores condiciones de salinidad de agua y permeabilidad (Fig.9).



Fig. 9. Espesor de la capa de interés atribuida a las arenas del médano.

CONCLUSIÓN

Las interpretaciones propuestas se realizaron manteniendo los rangos de resistividad y profundidades ajustadas para todos los SEV. Al momento de realizar este estudio no se cuenta con información litológica de una perforación cercana, pero se utiliza como referencia los antecedentes geológicos.

Los modelos de resistividad propuestos en este trabajo permiten correlacionar capas en cuatro rangos de resistividad. Una zona de resistividad intermedia superficial que estaría representando los primeros metros del subsuelo integrado por material de relleno y sedimentos arenosos del Pospampeano. Luego se observan capas de entre 30 y 60 Ωm que se desarrollan de los 10 hasta los 20-25 m de profundidad que estarían representando las arenas del médano invasor. Por debajo se observa una capa de 9 a 14 Ωm que estaría caracterizando los sedimentos limo arcillosos del Pampeano. Su base está representada por una capa de baja resistividad (1.5 -2 Ωm) que resulta el límite de la profundidad con interés prospectivo y que varía entre 30 y 45 m por debajo de la superficie del terreno.

Los valores más bajos de resistividad indicarían las zonas más desfavorables para una exploración, como el modelo que se presenta para TL 7. Mientras que los valores más altos podrían interpretarse como las mejores condiciones de salinidad y granulometría como en TL3 y TL8.

En una siguiente etapa deberá procederse a ratificar o rectificarse las estimaciones desarrolladas en este estudio mediante la generación de datos directos a partir de la ejecución de Perforaciones someras de Estudio (hasta 30 m de profundidad) y con bajo caudal de extracción, para controlar la tendencia creciente a la salinización y que se pueda preservar la calidad del agua subterránea.

La ejecución de los pozos se realizará con la finalidad de proceder a muestreo para determinar la calidad química presente en la zona con el mayor detalle posible. Además, se evaluará el rendimiento de los mismos.

Deberá luego realizarse un monitoreo permanente a los efectos de verificar la evolución química de los mismos (potencial incremento significativo en la salinidad o en el tenor de algún ión).

En ese marco se sugiere realizar pozos de prueba en correspondencia con las

ubicaciones próximas de los SEV realizados TL3 sobre calle Doctor Meltón Francisco Macaya y TL 8 sobre calle Presidente Nestor Kirchner (-35.953289°,-62.740770; -35.951897,-62.752697°).

Complementariamente se recomienda que en caso de necesidad y en función de los resultados de las prospecciones realizadas, ampliar la zona de estudio de prospección en el área correspondencia con el TL 8.