

## Anexo 3

### Caracterización de acuíferos

#### Método para la caracterización de acuíferos

Para la caracterización hidroestratigráfica de los sectores acuíferos en la cuenca del río Limarí se utilizaron diferentes fuentes de información: los datos de resistividad del subsuelo obtenido de la campaña de sondeos TEM, la estratigrafía de los pozos disponibles, y otros estudios sobre la hidrogeología de la cuenca.

#### Sondajes de transiente electromagnético (TEM)

El sondeo TEM es un método electromagnético de fuente controlada que utiliza la difusión transitoria del campo electromagnético y, por lo tanto, es sensible a los cambios en la resistividad eléctrica del subsuelo (Christiansen et al., 2009). Mediante una espira metálica (transmisora) instalada en el suelo se inducen corrientes eléctricas en el subsuelo. Al interrumpir la transmisión, el decaimiento de estas corrientes produce un campo magnético transiente que se detecta con otra espira metálica (receptora) por el voltaje inducido en ella. En comparación con los perfiles de tomografía de resistividad eléctrica (TRE), las ventajas de los sondeos TEM son una mayor profundidad de investigación y un trabajo de campo más simple (y más rápido). Sin embargo, el TEM se asocia a una precisión menor respecto a la tomografía eléctrica y solo permite una exploración 1D. Su profundidad máxima de exploración depende tanto del tamaño del bucle como de la distribución de resistividad del subsuelo (Christiansen and Auken, 2012).

Durante la dos campaña de terreno se utilizó el equipo TEM FAST 48HPC en una configuración de bucle coincidente (es decir, con la misma espira actuando como transmisor y receptor). Como se ha mencionado en la introducción, se realizó un total de 97 sondeos en 73 lugares diferentes a lo largo de los principales ríos del área de estudio (Figura A3.1). En 19 de los 73 lugares, fue posible hacer varias mediciones transversales al curso del río (representados como círculos naranjas en la Figura A3.1). Todos los sondeos se realizaron con un bucle de forma cuadrada de los cuales, el 40% (es decir, 39 sondeos) tienen longitud de lado de 25 m, 57% (es decir, 55 sondeos) de 50 m y 3% (es decir, 3 sondeos) de 100 m, donde las dimensiones se eligieron de acuerdo con las condiciones del terreno. Las mediciones se repitieron un mínimo de 10 veces para aumentar la relación señal / ruido, y se descartaron los valores con un ruido relativo superior al 5%. Del total de los sondeos fue necesario descartar 8 mediciones por la baja cualidad de los datos, debido a ruido electromagnético demasiado elevado. 6 de estos puntos se encuentran en la cabecera del río Combarbalá donde se descubrió que el río está canalizado en un tubo de PVC, factor que genera un acoplamiento capacitivo de la corriente inducida, y por lo tanto una señal oscilante en la medición TEM. Los otros dos sondeos descartados están ubicados uno en el río Guatulame y el otro en el río Limarí. En ambos casos el ruido antropogénico interfirió demasiado con la señal, donde en el río Guatulame la fuente de tal ruido fue un cable eléctrico y en el río Limarí fue la presencia de bombas activas en pozos cercanos.

Una vez descartados los 8 puntos de medición con alto ruido, se interpretaron los datos obtenidos utilizando el software de inversión AarhusInv (Auken et al., 2015) asumiendo un modelo estratificado 1D de la resistividad subsuperficial en cada sondeo. El software permite tres tipos de inversión: uno donde se permite invertir los datos para un número fijo de capas con espesor y resistividad variable, lo que permite cambios bruscos en los valores de resistividad entre capas; otro basado en modelos lisos en cual el software impone variaciones suaves de resistividad entre veinte capas de grosor fijo; y el último basado sobre la regularización de soporte de gradiente mínimo, que permite cambios bruscos en los valores de resistividad dentro de veinte capas de espesor fijo. Además, el software calcula la profundidad máxima de investigación máxima de cada sondeo (DOI; desde el inglés "depth of investigation") que es calculada de acuerdo con el modelo resultante desde el procedimiento de inversión, el número de puntos dentro cada sondeo y el error en los datos (Christiansen and Auken, 2012).

El software entrega la opción de interpretar diferentes sondeos juntos con un esquema llamado inversión espacialmente restringida (IER), que produce modelos de resistividad cuasi-3D utilizando soluciones directas 1D (Viezzoli et al, 2008). Con este procedimiento los parámetros de los modelos 1D (es decir, resistividad y espesor de capas) de sondeos cercanos están enlazados, limitando la variación lateral entre los resultados de la inversión. En este trabajo, en primera instancia se realizó una inversión individual de cada sondeo para poder identificar los sectores de continuidad hidrogeológicas (más detalles abajo), y luego una IER en cada sector.

Se definieron 10 sectores de continuidad hidrogeológica dentro del área de estudio, a partir de la geomorfología, hidrografía y de los resultados de inversión individual de los sondeos TEM (Figura A3.3). En general, cada sub-cuenca fluvial resultó en un sector individual, a excepción de los ríos Limarí y Grande que presentan cada uno un elemento de discontinuidad a lo largo de sus cauces: el embalse La Paloma en el caso del río Grande y la unidad geomorfológica de la Cordillera de la Costa (los Altos de Talinay) a nivel de la ruta 5 (Carretera Panamericana) en el caso del río Limarí. Desde este punto el río Limarí circula por materiales más compactos y menos erosionables, provocando que el cauce anteriormente amplio se torne bastante encajonado hasta su desembocadura en el mar. En el caso del río Grande el embalse La Paloma representa un cambio geomorfológico del área cruzada del cauce del río, que aunque pertenece al sector geomorfológico de los Valles Transversales, arriba del embalse cruza el Cordón Transversal mientras que debajo de este cruza la Cordillera de la Costa. Además en el embalse se juntan el cauce del río Grande y del río Guatulame marcando también un cambio hidrográfico. Por estos motivos, estas dos sub-cuencas hidrográficas se dividieron cada una en dos sectores distintos de continuidad hidrogeológica (“arriba” y “abajo” del elemento de discontinuidad en Figura 3).

Dentro de cada sector, se aplicó el esquema IER con restricciones cuya intensidad depende de las distancias entre sondeos (Viezzoli et al., 2008):

$$C(d) = 1 + (C_{ref} - 1) \left( \frac{d}{d_{ref}} \right)^a, \quad (1)$$

donde  $d$  es la distancia entre dos sondeos,  $d_{ref}$  es la distancia de referencia (en nuestro caso, la distancia media entre sondeos a lo largo del mismo sector de continuidad hidrogeológica) y  $C_{ref}$  es un valor de restricción de referencia. El exponente  $a$  (que regula qué tan rápido la restricción pierde intensidad con la distancia) y  $C_{ref}$  se eligieron de forma independiente en cada sector después de varias simulaciones, para obtener un ajuste aceptable entre las observaciones y las respuestas de los modelos de interpretación y respetar la continuidad hidrogeológica. El compromiso entre estos dos factores fue de permitir un incremento máximo del residual (diferencia entre observaciones y respuestas de los modelos) del 20% entre los resultados obtenido a través de la inversión individual y con esquema IER de cada sondeo. Finalmente, para la interpretación hidroestratigráfica de los modelos de resistividad, se optó por confiar en los resultados de la inversión IER basada en modelos con cinco capas por dos razones: en primer lugar estos resultados entregan un mejor ajuste entre las observaciones y las respuestas directas de los modelos de interpretación y son más coherente con los datos estratigráfico de los pozos cercanos y con los datos geofísicos antecedentes a este estudio (es decir, datos TEM y gravimétricos; GEODATOS, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2013c, 2014a, 2014b; GCF Ingenieros, 2015b; Yáñez Vidal, 2017; López et al., 2019; Hidrogestión, 2021; Figura 4). Los modelos obtenidos desde la inversión de cada sondeo TEM son presentados en el Apéndice 1.

## Columnas estratigráficas

Para validar e interpretar los modelos de resistividad eléctrica del subsuelo, se recopilaron informaciones de estratigrafía de 141 pozos en la cuenca del río Limarí (representados como triángulos en la Figura A3.1). Esta recopilación se entrega en el Apéndice 2.

Las fuentes de la información son 110 estratigrafías de pozos revisadas por Sernageomin provenientes desde los expedientes de solicitudes de derecho de aprovechamiento de agua subterránea de la Dirección General de Aguas (DGA), 20 pozos de monitoreo de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)

situados en el embalse La Paloma, 5 pozos de la empresa Agua del Valle de los cuales 4 se ubican en el río Limarí cerca de la junta del río Hurtado con el río Grande (Ovalle, sector Costanera) y 1 en el sector La Chimba de Ovalle y 6 pozos presentados en el estudio de GCF Ingenieros (2015a).

También se incorporó información estratigráfica del catastro de pozos de la IV región del 1978 (MOH, 1978) donde, aunque no existieran ubicaciones GPS precisas, fue posible obtener antecedentes cualitativos sobre la estratigrafía de algunos sectores de la cuenca en los que faltaban informaciones más recién.

## **Estudios sobre la hidrogeología de la cuenca**

Para la caracterización de los sectores acuíferos se incorporaron diferentes informaciones de otros estudios realizados sobre la hidrogeología de la cuenca del río Limarí, centrándose especialmente en los más recientes: el estudio sobre la geometría de la cuenca llevado a cabo por Sernageomin (López et al., 2019) y las actualizaciones del modelo Hidrogeológico de la cuenca del río Limarí efectuada por la DGA (Flores and Aliaga, 2020) y por Hidrogestión (Hidrogestión, 2021).

El estudio de López et al. (2019), presenta una modelización del espesor del relleno aluvial (es decir, profundidad a la roca basal) a lo largo de toda la cuenca del río Limarí. Tal modelización se basa en la recopilación de datos previos de gravimetría y transiente electromagnética (GCF Ingenieros, 2015a) y 1548 estaciones gravimétricas medidas por Sernageomin en el contexto de este estudio, junto con informaciones estratigráfica, geológica y geomorfológica de la cuenca. Su principal limitación está en el espaciado entre estaciones gravimétricas: aunque gran parte del área modelada está cubierta por las mediciones, el espaciamiento de la mayoría de ellas (aproximadamente cada 3 km) no es el óptimo para la interpretación con objetivos hidrogeológicos. A pesar de lo mencionado, los resultados de este estudio fueron cruciales para validar los resultados obtenidos desde la interpretación de los sondeos TEM cuando sus profundidades de exploraciones alcanzan la roca basal o de lo contrario, como información complementaria por la caracterización de las bases de los sectores acuíferos.

El estudio de Hidrogestión (2021), presenta una revisión y actualización del modelo de flujo de agua subterránea realizado por GFC Ingenieros (2015a). La base de este estudio es la recopilación de los antecedentes hidrológicos (es decir, análisis de precipitaciones histórica y estadística fluviométrica de los caudales medios mensuales para los principales ríos de la cuenca) e hidrogeológicos (es decir, geomorfología, geología, niveles piezométrico, pruebas de bombeo y columnas estratigráficas) en la cuenca del río Limarí, juntos con campañas de prospección geofísica de gravimetría. Desde esta modelización actualizada, se obtuvieron diferentes parámetros útiles para la caracterización de los acuíferos. Además de ser otra fuente de información sobre la profundidad de la roca basal. A partir del modelo desarrollado fue posible extrapolar el nivel freático con su desviación estándar temporal. Precisamente, se tomó el promedio de los niveles de agua considerando el periodo total de la simulación (1995-2016). Dado que el nivel del agua varía con el tiempo, es correcto pensar que el nivel existente en el momento de las mediciones TEM del presente estudio podría ser diferente al valor promedio histórico mencionado. Esta fuente de incertidumbre puede ser cuantificada con la desviación estándar en el tiempo de los niveles de agua simulados, la cual es generalmente menor a 5 m en las zonas estudiadas. Además de esta fuente de incertidumbre, una grande incertidumbre existe debido a los errores de modelación, los cuales tienen varios orígenes vinculados a simplificaciones conceptuales subyacentes al modelo y errores numéricos. Estos errores pueden ser cuantificados mediante la comparación entre los niveles simulados y los niveles observados (es decir medidos), la cual muestra un error "root mean square" de 26.4 metros (Hidrogestión, 2021). La combinación de estas dos fuentes de errores da una incertidumbre aproximativa de 26.9 metros sobre el nivel de agua usado. Además, dentro de este estudio se proporcionan 1790 puntos de gravimetría (entre los datos recopilados de GFC Ingenieros 2015a y las 772 estaciones de gravimetría medidas por SEGMI, 2016 y 2018) que se utilizaron, junto con la modelización del estudio de López et al. (2019) para la validación o complementación de las mediciones TEM.

El trabajo de Flores y Aliaga (Flores y Aliaga, 2020; Modelo Limarí 2020 en adelante), también presenta una actualización del modelo de flujo de agua subterránea realizado por GFC Ingenieros (2015a). En

este trabajo, el énfasis se enfocó en representar los sectores permeables de la formación geológica, identificados en el estudio de López et al. (2019). Los niveles freáticos extraídos desde este modelo presentan una incertidumbre mucho menor que la proporcionada por el modelo realizado por Hidrogestión (2021), con un error “root mean square” de 2.95 metros. La variación temporal también está menor, presentando una desviación estándar en el tiempo generalmente menor a 2 metros, o sea, el incertidumbre total es aproximativamente de 3.6 metros. Por este motivo se seleccionó el Modelo Limarí 2020 para extrapolar los niveles freáticos a lo largo del área de estudio, donde se tomó el promedio de los niveles de agua considerando el periodo total de la simulación (1964-2018 en este caso - Figura A3.2). Esta información, junto con formar parte de la caracterización de los sectores acuíferos, ayudó en algunos casos a discernir entre material grueso saturado o material fino seco, que pueden tener valores de resistividad eléctrica similar, especialmente en el caso de agua eléctricamente conductiva almacenada en los poros.

Finalmente, junto con estos estudios más recientes, fue considerada la información recopilada sobre la geomorfología, geología, hidrogeología y calidad del agua subterránea de la cuenca (SERPLAC-DGA-ONU-CORFO, 1979; DGA, 2008; Salazar-Gutiérrez, 2012; GCF Ingenieros, 2015a; López et al., 2019; Ramos, 2020; Flores y Aliaga, 2020; Hidrogestión, 2021).

### **Interpretación hidroestratigráfica**

Gracias a la interpretación de las mediciones TEM y sus correlaciones con los datos de columnas estratigráficas y con las informaciones proporcionadas de los estudios disponibles sobre la hidrogeología de la cuenca, se pudo cumplir una primera caracterización hidroestratigráfica de las zonas de acuíferos (es decir, relacionar capas de diferentes propiedades hidrogeológicas y heterogeneidad dentro de cada sector acuífero en el área de estudio).

Las zonas de acuíferos se caracterizaron por sectores de continuidad hidrogeológica previamente delineados para la inversión de los datos de sondaje electromagnético (Figura A3.3). Incluso si los 10 sectores resultantes pertenecieran todos a la misma unidad geomorfológica de la cuenca (es decir, los Valles Transversales), estos atraviesan áreas geomorfológicamente distintas: los sectores río Combarbalá, río Cogotí y río Pama cruzan la Cordillera de los Andes y parte del Cordón Transversal; los sectores río Guatulame y río Grande arriba del embalse La Paloma cruzan solo el Cordón Transversal; los sectores río Limarí arriba de los Altos de Talinay, quebrada Ingenio y estero Punitaqui cruzan los Pediplanos de la cordillera de la Costa; el río Grande abajo del embalse La Paloma cruza la Cordillera de la Costa y el río Limarí abajo de los Altos de Talinay cruza la Cordillera de la Costa y la Planicie Litoral (López et al., 2019).

Desde la inversión de los sondeos TEM se obtuvieron 89 perfiles 1D de resistividad eléctrica del subsuelo con cinco capas de diferentes espesores a lo largo del área de estudio (Apéndice 1). Estos se interpretaron juntos a los datos geofísicos revisados (TEM y gravimétricos), previamente tomados en esta área (Figura A3.4). Esta información se interpretó como diferentes materiales geológicos correlacionándola con la columna estratigráfica de los pozos cercanos a los sondeos, asumiendo una buena coherencia entre los valores de resistividad y el tipo de material geológico a lo largo del mismo sector de continuidad hidrogeológica. En caso de falta de información estratigráfica, se utilizaron datos de literatura para efectuar esta correlación (Kirsch, 2009; Reynolds, 2011). Además, para mejorar esta interpretación, se incorporaron informaciones sobre la profundidad del nivel freático obtenido del Modelo Limarí 2020 o desde las estaciones de monitoreo de la DGA (Figura A3.2) y la química del agua subterránea, visto que la resistividad eléctrica en material poroso depende también de la conductividad eléctrica del agua almacenada en los poros, la cual depende de su composición química.

Finalmente, del material geológico interpretado y utilizando valores de la literatura (Freeze and Cherry, 1979) fue posible inferir cualitativamente algunas propiedades hidráulicas (porosidad y permeabilidad). Los resultados obtenidos se compararon con las informaciones sobre la conductividad hidráulica disponible en la aérea de estudio desde diferentes pruebas de bombeos (GCF Ingenieros, 2015a; Hidrogestión, 2021; Tablas A3.2-A3.3 en Apéndice 2). También se analizó cualitativamente el

nivel de heterogeneidad dentro de los diferentes sectores acuíferos tanto longitudinalmente como transversalmente a la cuenca hidrográfica.

## Resultados

La interpretación hidroestratigráfica está presentada en adelante por sector de continuidad hidrogeológica. Las figuras citadas como A3a1.xx y A3a2.xx se refieren a figuras de los Apéndice 1 y 2 respectivamente. Además se en la Tablas A3.1-A3.10 se resumen los resultados obtenidos por cada sector.

### Río Cogotí

Este sector, como la mayoría de los otros sectores de continuidad hidrogeológica identificados en la Figura A3.3, se constituye de depósitos aluviales, coluviales y fluviales actuales (es decir, moderno) y subactuales (es decir, antiguos).

Los depósitos aluviales, se encuentran principalmente formando abanicos al pie de quebradas tributarias al cauce principal. Corresponden a depósitos de mala selección y baja compactación constituidos por gravas, gravillas, arenas y algunos bolones, inmersos en una matriz de arena a gravilla. Hacia las cabeceras engranan con depósitos coluviales, mientras que en sus extremos terminales engranan con los depósitos fluviales. Los depósitos coluviales corresponden a depósitos heterogéneos de arenas, gravas, bolones, limos y arcillas, de baja compactación, que se encuentran ubicados en conos de deyección, donde la distribución de los sedimentos varía en función de la pendiente: en la zona apical se encuentran las fracciones gruesas, constituidas de bolones y gravas con una matriz de arena y arcilla; en la parte media comienza a disminuir la granulometría (arenas arcillas, limos y gravas en menor proporción) y en su parte más baja se intercalan con los depósitos aluviales actuales.

Las terrazas fluviales subactuales, corresponden a escalones modelados por el río a medida que éste ha ido profundizando su cauce y están constituidas principalmente por bolones, gravas, arenas y lentes de arcilla; tienen generalmente un espesor mayor que las terrazas actuales pero son menos permeables. Las terrazas actuales corresponden a sedimentos de baja compacidad ubicados en el lecho actual del río, atravesando los depósitos de terrazas aluviales. Consisten en bolones, gravas y arenas con algunos lentes de gravas y limos arcillosos; se caracterizan por un espesor menor pero una mayor permeabilidad respecto a las terrazas subactuales (SERPLAC-DGA-ONU-CORFO, 1979; Salazar-Gutiérrez, 2012; GFC Ingenieros, 2015a; Hidrogestión, 2021).

Los modelos 1D de resistividad, obtenidos a partir de los sondeos TEM (Figuras A3a1.5-A3a1.20), y las columnas estratigráficas cercanas a sondeos efectuados (Figuras A3a2.1 y A3a2.2) en el sector río Cogotí sugieren un buen nivel de heterogeneidad a lo largo de este sector, mientras que los transectos TEM efectuados (Figuras A3a1.5-A3a1.7 y A3a1.12-A3a1.13) y revisados (GEODATOS, 2012b) muestran una buena continuidad entre los modelos 1D que lo constituyen y por lo tanto un buen nivel de homogeneidad a lo ancho del sector.

El espesor de las capas interpretadas como relleno sedimentario varía entre 9.85 metros en cabecera del río (Figura A3a1.8), hasta 55.48 metros en la proximidad del embalse Cogotí (Figura A3a1.20). Eso corresponde a tres de las cinco capas modeladas a lo largo de casi todo el sector, las capas restantes siendo interpretadas como roca basal. Los sondeos del transecto en cabecera del río (Figura A3a1.7) y cerca del pueblo, en La Isla (Figura A3a1.18) constituyen excepciones. En estos casos la modelización resultó en una sola capa de relleno sedimentario y una capa de roca basal por el sondeo en cabecera, y en dos capas de roca con diferentes alteraciones en el otro caso. Este primer resultado es coherente con las informaciones proporcionadas del estudio de López et al. (2019), las informaciones estratigráficas y de los datos gravimétricos disponibles en el sector.

Con la excepción de los dos sondeos mencionados, en el resto el sector río Cogotí el relleno sedimentario se modeló con tres capas. La primera, de espesor variable entre 3.62 (en cabecera del río; Figura A3a1.8) y 40.61 metros (cerca de La Isla; Figura A3a1.18), se interpretó como material

permeable (arena) seco, a excepción por la parte central del sector (pueblos de La Isla y Loma Carrizo; Figuras A3a1.18-A3a1.19), donde la baja resistividad de esta primera capa sugiere la presencia de material más fino y meno permeable (es decir, arcilla y/o arena arcillosa).

La segunda capa, que tiene un espesor variable entre 1.31 (Figura A3a1.17) y 41.34 metros (Figura A3a1.13), presenta una mayor homogeneidad a lo largo del sector y está interpretada como material muy permeable seco, más grueso que la capa sobreyacente (bolones, grava y arena).

Finalmente, la tercera capa tiene un espesor variable entre 1.5 (Figura A3a1.10) y 18.7 metros (Figura A3a1.15) y se interpretó como material saturado con diferentes permeabilidades. Desde la cabecera del río hasta la junta con el Estero Chépica (Figuras A3a1.5- A3a1.13) este material es de composición gruesa y por lo tanto permeable (arena y grava); mientras que más abajo se mezcla con material más fino y menos permeables (arcilla y arena arcillosa). La profundidad de la capa permeable con presencia de agua varía entre 8.06 metros en cabecera (Figura A3a1.8) y 48.65 metros cerca de la junta con el estero Chépica (Figura A3a1.13). Esto último resultado es anómalo respecto al resto de los sondeos, donde en general el nivel freático resulto más superficial de los 10 metros de profundidad (de acuerdo con los niveles proporcionados del Modelo Limarí 2020).

Las últimas dos capas modeladas se interpretaron como roca, donde la primera presenta un grado de alteración/meteorización que se refleja en valores menos elevados de resistividad y con un espesor desde 2.63 (en cabecera del río, Figura A3a1.5) hasta 59.98 metros (Figura A3a1.18). A excepción del sondeo cercano a La Isla y el sondeo más cercano al embalse Cogotí (Figuras A3a1.18 y A3a1.20, respectivamente), donde la capa subyacente presenta valores de resistividad que corresponden a una mayor alteración de la roca o a la presencia de incrustaciones de arcilla; para el resto del sector la capa más profunda se interpretó como el empezar de la roca basal intacta (por lo tanto no permeable). Su profundidad varía entre 12.69 (Figura A3a1.17) y 75.12 metros (Figura A3a1.9) y se extiende a lo menos hasta la máxima profundidad de exploración del sondeo TEM que en este sector se ubica entre 33.97 (Figura A3a1.5) y 202.75 metros (Figura A3a1.7). Las profundidades a la roca basal integra, son generalmente mayores que los datos entregados en el informe de López et al. (2019), lo que es coherentes porqué López et al (2019) representaron la profundidad donde empieza la roca, alterada o no (este comentario en general es válido por todos los sectores caracterizados).

En la Tabla A3.1 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

## **Río Combarbalá**

Desde los modelos de resistividad obtenidos (Figuras A3a1.21- A3a1.29) y una columna estratigráfica (Figura A3a2.3), a lo largo de este sector emerge una distribución de material bastante heterogénea. Por otra parte, los transectos efectuados (Figuras A3a1.26- A3a1.27 y A3a1.28- A3a1.29) y revisados (GEODATOS, 2013c), muestran un buen nivel de homogeneidad a lo ancho de este sector.

El único punto que fue posible interpretar en la cabecera del río, muestra una primera capa de resistividad modelada que corresponde a la roca basal, lo que significa que el espesor del relleno sedimentario es menor de 2 m: el sondeo TEM no es sensible a los primeros dos metros de profundidad debajo de la superficie debido al efecto del potencial de alto voltaje (HVP desde el inglés “High Voltage Potential”; Christiansen et al., 2009). En el resto del sector se interpretó una profundidad a la roca basal entre los 15.59 y los 34.29 metros, donde la mayor potencia del relleno se encuentra en la junta con el río Pama (Figura A3a1.27). Excepto por un sondeo, donde la máxima profundidad de exploración pertenece a la capa de roca modelada más superficial (Figura A3a1.24), a lo largo de todo el sector, dos (en el embalse Cogotí; Figuras A3a1.28- A3a1.29) o tres (a lo largo del río Combarbalá; A3a1.21- A3a1.27) de las capas modeladas se interpretaron como roca basal con valores de resistividad que disminuyen significativamente en la capas más profundas, indicando meteorización y/o alteración de la misma roca. Este resultado es coherente con lo reportado por López et al. (2019) y con los datos gravimétricos disponibles.

Aparte del sondeo en cabecera, en el resto del río Combarbalá las primeras dos capas modeladas se interpretaron como perteneciendo a relleno sedimentario, mientras en el caso del embalse Cogotí las

primeras tres capas se interpretaron como perteneciendo al relleno sedimentario. En lo específico, la capa más superficial, con un espesor que varía entre 4.4 (Figura A3a1.23) y 29.11 metros (en la junta con el río Pama; Figura A3a1.27), se interpretó constituida en su mayoría por material fino impermeable saturado (arcilla) excepto en la zona entre Combarbalá y la junta con el río Pama (Figuras A3a1.24 y A3a1.25), donde el relleno se interpretó constituido por material permeable saturado (arena, grava y bolones). Cabe señalar que dentro de este sector el nivel freático en los puntos de sondeos se encuentra entre la superficie y los 5 metros de profundidad según los resultados del Modelo Limarí 2020.

La segunda capa tiene un espesor variable entre 2.25 (Figura A3a1.22) y 23.71 metros (Figura A3a1.23), y se interpretó generalmente como material impermeable saturado (arcilla y algunas lentes de limo) con la excepción de la junta entre el río Pama y Combarbalá, donde se interpretó como material permeable saturado. La presencia de sedimentos finos y poco permeables en esta dos primeras capas es coherente con las informaciones disponibles desde dos pruebas de bombeo efectuadas en la parte central de este sector donde la conductividad hidráulica es del orden de  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  m/s, valores que corresponden respectivamente a arenas finas y arenas arcillosas.

La tercera capa, en el embalse Cogotí corresponde a relleno permeable saturado con espesor entre los 5.16 y 9.09 metros; mientras que en el sector del río Combarbalá corresponde a la primera capa de roca, con un espesor que varía entre 3.53 (Figura A3a1.23) y 38.6 metros (Figura A3a1.24). Esta capa tiene una mayor resistividad (es decir, una menor alteración de la roca) respecto a las dos capas subyacentes en todo lo largo del río Combarbalá excepto por el sondeo en cabecera, donde la cuarta capa presenta la máxima resistividad (y por lo tanto menor alteración).

A excepción del sondeo en cabecera del río, la cuarta y quinta capa en todo el sector corresponden a roca con diferentes niveles de alteración que se refleja en una progresiva disminución de los valores de resistividades (debido a infiltraciones de agua y/o incrustaciones de arcilla). La cuarta capa presenta menor alteración y un espesor entre 2.3 (Figura A3a1.17) y 53.72 metros (Figura A3a1.21), y la capa más profunda, con alteración mayor, se extiende hasta la máxima profundidad de exploración del sondeo TEM que en este sector es desde 37.02 (Figura A3a1.23) hasta 188.12 metros (Figura A3a1.27).

En la Tabla A3.2 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

## **Río Pama**

Los resultados obtenidos desde los modelos de resistividad (Figuras A3a1.30- A3a1.35) y las tres columnas estratigráficas (Figura A3a2.4) disponibles, muestran un buen nivel de homogeneidad tanto a lo largo como a lo ancho del sector (como se observa en el transecto efectuado de Figuras A3a1.31- A3a1.33 y los transectos revisados; GEODATOS, 2014b).

El espesor del relleno sedimentario resulta entre 5 (en las columnas estratigráficas situadas al borde del cauce) y 45.7 metros (sondeo hecho en un embalse ahora vacío; Figura A3a1.30). La roca subyacente abarca tres de las cinco capas modeladas con diferentes niveles de alteración; mientras que las dos capas superficiales corresponden al relleno sedimentario. Las profundidades a la roca son coherentes con lo reportado en López et al. (2019), con las informaciones estratigráficas y con los datos gravimétricos disponibles en este sector.

En lo específico, la primera capa tiene un espesor que varía entre 2.43 (Figura A3a1.33) y 37.08 metros (Figura A3a1.35) y se interpretó generalmente como material permeable (grava y bolones) saturado, con presencia de sedimento fino (arcilla) en el sondeo situado en el embalse vacío (Figura A3a1.30). De acuerdo con el nivel freático modelado y medido en el pozo de monitoreo de la DGA, en los puntos correspondientes a los sondeos TEM, el agua se encuentra entre la superficie y los 10 metros de profundidad.

La segunda capa, así como la primera, se interpretó constituida de material permeable saturado pero con una mayor presencia de sedimento más fino (arena). Su espesor varía entre 3.56 (Figura A3a1.35)

y 37.4 (Figura A3a1.33) metros. Las informaciones relativas a estas dos primeras capas son coherentes con los datos disponibles desde dos pruebas de bombeo efectuadas en la parte central de este sector, donde la conductividad hidráulica resultó ser del orden de  $10^{-4}$  m/s, que corresponde a arenas.

Las últimas tres capas, como se ha anticipado, se interpretaron como medio rocoso con diferentes niveles de alteración. La tercera capa se interpretó como roca meteorizada o alterada con un espesor entre 4.1 (Figura A3a1.34) y 42.75 metros (Figura A3a1.32). Subyacente a esta, la cuarta capa presenta valores de resistividad significativamente menores, que se interpretó como roca alterada con presencia de arcilla y por lo tanto a una capa impermeable de espesor entre 2.44 (Figura A3a1.35) y 40.44 (Figura A3a1.32) metros. La quinta y última capa se asociaron a la roca basal intacta que se encuentra a una profundidad que varía entre 21.59 (Figura A3a1.34) y 101.95 metros (Figura A3a1.31) y que se extiende hasta la máxima profundidad de exploración del sondeo TEM, que en este sector es entre 78.87 (Figura A3a1.31) y 120.63 metros (Figura A3a1.35).

En la Tabla A3.3 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

## **Río Guatulame**

Los datos de los modelos de resistividad (Figuras A3a1.36- A3a1.47) y las estratigrafías de los pozos (Figuras A3a2.5-A3a2.7) muestran un discreto nivel de heterogeneidad a lo largo del sector, mientras que los transectos TEM efectuados muestran un buen nivel de homogeneidad a lo ancho del sector (Figuras A3a1.40- A3a1.41, A3a1.42- A3a1.43 y A3a1.46- A3a1.47). Además, en el embalse Paloma, 6 transectos precedentes medidos confirman un buen nivel de continuidad transversal en esta área (GEODATOS, 2013a).

El contacto con la roca basal no fue alcanzado en los dos primeros sondeos río abajo del embalse Cogotí (Figuras A3a1.36- A3a1.37). En los restantes sondeos de este sector, el contacto entre el relleno sedimentario y la roca basal fue modelado a una profundidad entre 14.25 (Figura A3a1.42) y 117.01 metros (Figura A3a1.41); resultado coherente con lo proporcionado por López et al. (2019), con los datos gravimétricos y con las columnas estratigráficas disponibles. El relleno abarca cuatro capas hidroestratigráficas a lo largo de todo el sector.

En lo específico, la primera capa tiene un espesor entre 7.63 (Figura A3a1.38) y 54.71 metros (A3a1.37) y se interpretó como material permeable no saturado para la mayoría del sector (bolones, grava y arena) mezclado con mayor (en proximidad del embalse La Paloma; Figura A3a1.42 y A3a1.45) o menor (agua abajo del embalse Cogotí; Figuras A3a1.36- A3a1.37 y A3a1.39) porcentaje de sedimentos más finos y menos permeables (arcilla y/o limo). El mismo material permeable (bolones, grava y arena de acuerdo con la columna estratigráfica más cercana) se interpretó como saturado en los sondeos situados en el embalse La Paloma (Figuras A3a1.46- A3a1.47).

La segunda capa, con espesor entre 1 (Figura A3a1.42) y 93.25 metros (Figura A3a1.41), se interpretó como material más grueso y permeable de la primera (bolones y grava) también no saturado, a excepción de los sondeos en el embalse La Paloma.

La tercera capa presenta un espesor entre 1 (Figura A3a1.42) y 40 metros (Figura A3a1.36) y se interpretó conformada de material fino no permeable saturado (arcilla y/o limo) a lo largo y ancho de todo el sector.

Finalmente, la cuarta capa se interpretó como conformada del mismo material permeable (grava, arena y bolones) saturado a lo largo de todo el sector, con espesor que varía entre 1.96 (Figura A3a1.47) y 52.43 metros (Figura A3a1.36). Considerando estas informaciones, la profundidad al nivel freático interpretada desde los modelos de resistividad varía entre la superficie (en el embalse La Paloma; Figuras A3a1.46- A3a1.47) y 106.28 metros (Figura A3a1.41). Los niveles más profundos se alejan significativamente de los niveles freáticos proporcionados del Modelo Limarí 2020 (entre 0 y 10 metros de profundidad). Cabe señalar que el Modelo Limarí 2020 es un modelo regional mientras que las mediciones TEM efectuadas están a una escala puntual y por lo tanto más precisas; también los puntos donde el nivel freático están más profundo son más cerca del borde del cauce del río, donde el Modelo

Limarí 2020 resulta ser menos preciso (debido al menor número de puntos de calibración alejados del cauce del río).

Además, en este sector son disponibles datos de diferentes pruebas de bombeos, donde la conductividad hidráulica es del orden de  $10^{-5}$  m/s que corresponde a sedimentos permeables (arenas) en la parte central del sector, y del orden de  $10^{-6}$  m/s que corresponde a arenas arcillosas en la parte más cercana al embalse Cogotí. Estos resultados son coherentes con las informaciones otorgadas de los modelos de resistividad, considerando que los pozos utilizados por las pruebas de bombeo abarcan las primeras dos capas de resistividad modeladas.

Como se ha mencionado anteriormente, en la mayoría de los puntos TEM interpretados en este sector, la última capa corresponde a la roca basal y se extiende hasta la máxima profundidad de exploración de los sondeos: entre 37.1 (Figura A3a1.47) y 190.93 metros (Figura A3a1.40).

En la Tabla A3.4 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

### **Río Grande arriba del embalse La Paloma**

El sector de continuidad hidrogeológica río Grande arriba del embalse La Paloma presenta una buena homogeneidad en su ancho, que se muestra en los transectos TEM tomados (Figuras A3a1.48- A3a1.49 y A3a1.50- A3a1.54) y precedentemente medidos en el embalse La Paloma (GEODATOS, 2013a). Por otra parte, a lo largo de este sector, los modelos de resistividad (Figuras A3a1.48- A3a1.54) y la columna estratigráfica disponible (Figura A3a2.8) revelan una cierta discontinuidad entre el área de la junta del río Grande con el río Rapel (Figuras A3a1.48- A3a1.49) y el área del embalse La Paloma, cerca del pueblo Montepatria (Figuras A3a1.50- A3a1.54).

En todo el sector, el relleno sedimentario tiene un espesor que varía entre 40.77 (Figura A3a1.50) y 75.67 metros (Figura A3a1.49) que es coherente con las informaciones proporcionadas por datos gravimétricos cercanos, del informe de López et al. (2019), y de la información obtenida de 3 pozos del catastro de la IV región de 1978 (MOH, 1978; SERPLAC, 1979). Aparte por un sondeo (Figura A3a1.51), donde la máxima profundidad de exploración abarca solo las primeras tres capas, en todo el sector las primeras cuatro capas modeladas pertenecen al relleno sedimentario.

En el área de la junta entre río Rapel con Río Grande, las primeras tres capas se interpretaron como material permeable saturado con diferente granulación. La primera capa, con un espesor de aproximadamente 13 metros (12.58m en Figura A3a1.48 y 13.32m en Figura A3a1.49) y modelada con una resistividad eléctrica mediana respecto a las otras dos, se interpretó constituida de arena y grava saturada. En la segunda capa, con espesor entre 12.36 (Figura A3a1.49) y 30.13 metros (Figura A3a1.48), una pequeña disminución de los valores de resistividad revela una presencia menor de sedimentos más fino (grava arenosa con presencia de arcilla). La tercera capa presenta valores de resistividad un poco más elevados, mostrando la presencia de material más grueso (es decir, bloques y bolones juntos a grava arenosa) y tiene un espesor entre 15.43 (Figura A3a1.49) y 28.6 metros (Figura A3a1.48). La cuarta capa en esta área tiene un espesor de aproximadamente 4 metros (4.36m en Figura A3a1.48 y 4.46m en Figura A3a1.49) y está interpretada como material muy fino e impermeable (limo o arcilla limosa).

En la junta del río Grande con el río Rapel, cercano a los sondeos TEM efectuados, fue posible realizar una prueba de bombeo donde se averiguó un nivel estático de 0.65 metros (coherente con los resultados de la modelación de resistividad y con los niveles freáticos proporcionados del Modelo Limarí 2020) y una conductividad hidráulica del orden de  $10^{-3}/10^{-4}$  m/s que corresponde a grava arenosa (de acuerdo a la primera capa modelada, donde pertenece la máxima profundidad del pozo utilizado por la prueba de bombeo).

En el área del embalse La Paloma, la primera capa modelada tiene un espesor entre 9.43 (Figura A3a1.50) y 31.95 metros (Figura A3a1.53) y se interpretó como material permeable (bolones y gravas) con presencia de agua. Este dato es consistente con el nivel freático entregado del Modelo Limarí 2020 (entre 0.6 y 3.3 metros de profundidad) y con el nivel tomado en el pozo de observación GR1 (Figura A3a2.38) que resultó de 4.3 metros (por lo tanto perteneciente a la primera capa). La segunda y tercera

capa, con espesores respectivamente entre 4.33 (Figura A3a1.54) y 24.11 metros (Figura A3a1.50) y entre 3.01 (Figura A3a1.50) y 28.73 metros (Figura A3a1.53), se interpretaron como material fino impermeable (arcilla y limo) con granulación levemente más pequeña en la capa superior respecto a la subyacente. A excepción del sondeo en Figura A3a1.51, cuya máxima profundidad de exploración alcanza la tercera capa solamente, la cuarta capa en esta área se interpretó como material permeable saturado (conglomerados con arena) y tiene espesor entre 4.22 (Figura A3a1.50) y 19.63 metros (Figura A3a1.52).

A lo largo de todo el sector, en los sondeos donde la máxima profundidad de exploración alcanza la quinta capa, esta está interpretada como roca basal y se extiende hasta la máxima profundidad de exploración de los sondeos: entre 47.4 (Figura A3a1.50) hasta 73.12 metros (Figura A3a1.53).

En la Tabla A3.5 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

### **Río Grande abajo del embalse La Paloma**

Los resultados obtenidos desde los modelos de resistividad (Figuras A3a1.55- A3a1.60) y las columnas estratigráficas disponibles (Figuras A3a2.9-A3a2.10), muestran un buen nivel de homogeneidad tanto a lo largo como a lo ancho de este sector (como se observa en el transecto efectuado de Figuras A3a1.55- A3a1.56 y los transectos revisados; GEODATOS, 2013b y 2014b).

El espesor del relleno sedimentario resulta entre 18.71 (debajo de la Paloma; Figura A3a1.56) y 87.58 metros (cerca de la confluencia con el río Hurtado; Figura A3a1.60) y abarca cuatro de las cinco capas modeladas. La profundidad a la roca basal modelada es coherente con los resultados reportado en López et al. (2019), con los datos gravimétricos y las estratigrafías disponibles en este sector.

En lo específico, la primera capa tiene un espesor que varía entre 4.94 (Figura A3a1.59) y 10.23 metros (Figura A3a1.60), y está interpretada como material permeable (grava y arena) saturado. De acuerdo con el nivel freático modelado y medido en pozos de monitoreo de la DGA, el agua se encuentra entre la superficie y los 10 metros de profundidad en los puntos correspondientes a los sondeos TEM de todo este sector, y por lo tanto coherente con los resultados de la modelación de resistividad. Además, la composición de esta primera capa es consistente con los datos disponibles desde dos pruebas de bombeo efectuadas en la parte más baja de este sector (cerca del pueblo de Sotaqui y Santa Catalina; es decir, cerca de la junta con el río Hurtado) donde la conductividad hidráulica es del orden de  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  m/s, valores que corresponden respectivamente a gravas y arenas.

La segunda, tercera y cuarta capa se interpretaron como material impermeable (arcilla y arena arcillosa). Sus espesores varían entre 7.39 (Figura A3a1.56) y 49.96 metros (Figura A3a1.57) para la segunda capa, entre 1.33 (Figura A3a1.55) y 61.28 metros (Figura A3a1.59) para la tercera capa y entre 1.97 (Figura A3a1.56) y 64.56 metros (Figura A3a1.60) en el caso de la cuarta capa.

La última capa se interpretó como roca y se extiende hasta la máxima profundidad de exploración del sondeo TEM que en este sector es desde 25.75 (Figura A3a1.56) hasta 103.2 metros de profundidad (Figura A3a1.58).

En la Tabla A3.6 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

### **Quebrada Ingenio**

En este sector, los modelos otorgados de las inversiones de los sondes TEM (Figuras A3a1.61- A3a1.64), el transecto TEM revisado (GEODATOS, 2014b) y las columnas estratigráficas disponibles (Figura A3a2.11), muestran una buena homogeneidad a lo largo y ancho de esta aérea, a excepción del sondeo en la junta con el río Limarí (Figura A3a1.64). Cabe señalar que este sondeo es parte de un perfil transecto perteneciente al sector de continuidad hidrogeológica río Limarí, arriba de los Altos de Talinay, y presenta una buena homogeneidad con este último sector.

La profundidad a la roca basal es alcanzada solo en un sondeo a lo largo de este sector, en la parte más aguas arriba de la quebrada (Figura A3a1.61). Para este sondeo el relleno sedimentario se modela con

solo tres capas. Considerando este punto y las informaciones de las columnas estratigráficas, el relleno sedimentario tiene un espesor que varía entre 17 y 70 metros, aunque los datos de gravimetrías disponibles en este sector proporcionan valores de profundidad a la roca basal hasta 120 metros. Sin embargo, en los otros sondeos del sector se alcanzaron profundidades máximas de exploración de 72.05, 75.16 y 113.01 metros (Figuras A3a1.62- A3a1.64), sin llegar a la roca basal y por lo tanto coherentemente con el dato gravimétrico citado. En el resto del sector, el relleno sedimentario abarca las cinco capas, excepto por el sondeo en la junta con el río Limarí, donde abarca solo cuatro capas, mientras que la última es más profunda de la máxima profundidad de exploración alcanzada.

La primera capa tiene un espesor entre 2.38 (Figura A3a1.62) y 11.44 metros (Figura A3a1.64) y se interpretó como material impermeable saturado (limo, arcilla y arena arcillosa) en la mayoría del sector, a excepción del sondeo en junta con el río Limarí, donde se interpretó constituida por material permeable saturado.

La segunda y tercera capa, con espesores que varían respectivamente entre 5.47 (Figura A3a1.64) y 40.39 metros (Figura A3a1.61) y entre 1.41 (Figura A3a1.61) y 53.13 metros (Figura A3a1.63), se interpretaron como material permeable saturado (arena y grava) en todo el sector aparte por el sondeo en la junta con el río Limarí, donde se constituyen por sedimentos finos impermeables (arcilla y arena arcillosa). Cabe señalar que en esta quebrada el agua superficial y subterránea presenta contaminaciones desde una planta de tratamiento de sulfato de hierro (GCF Ingenieros, 2015a), resultando en valores de resistividades muy bajos por las capas permeables saturadas (hasta 1.25  $\Omega$ m en la última capa de Figura A3a1.62). Sin embargo esta contaminación parece difundirse y disminuir su efecto en los valores de resistividad modelados cuando la quebrada se junta al río Limarí (Figura A3a1.64).

De acuerdo con el nivel freático modelado y medido en pozos de monitoreo de la DGA, el agua se encuentra entre la superficie y los 10 metros de profundidad en todo el sector, y por lo tanto coherente con los resultados proporcionados desde la interpretación de los sondeos TEM por estas primeras tres capas. Además, tres pruebas de bombeo efectuadas en la parte más arriba de este sector otorgan valores de conductividad hidráulica del orden de  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$  m/s que corresponden respectivamente a gravas y arenas, coherentemente a la composición de las segunda y tercera capas en esta área.

La cuarta capa, tiene un espesor que varía entre 2.51 (Figura A3a1.62) y 19.97 metros (Figura A3a1.63) y está interpretada como estrado impermeable o semipermeable (sedimentos finos como arcilla o arena arcillosa) en la parte central del sector (Figuras A3a1.62 y A3a1.63), mientras que en el sondeo aguas arriba (Figura A3a1.61) está interpretada como roca alterada, y en la junta con el río Limarí como capa permeable saturada (Figura A3a1.64). En estos dos últimos casos, esta capa corresponde a la última modelada en el alcance de sensibilidad del sondeo TEM.

La última capa modelada (Figuras A3a1.62 y A3a1.63), se interpretó como material permeable saturado con agua de alta conductividad eléctrica (grava y bolones); empieza a una profundidad de 42.33 (Figura A3a1.62) y 93.64 (Figura A3a1.63) y se extiende hasta la máxima profundidad de exploración del sondeo TEM: 72.05 en Figura A3a1.62 y 113.1 metros en Figura A3a1.63. La presencia de una capa más profunda de agua conductora se sustenta en la información de un pozo privado cercano al sondeo de Figura A3a1.63.

En la Tabla A3.7 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

### **Río Limarí arriba de los Altos de Talinay**

Este sector de continuidad hidrogeológica se distingue de los otros porque pertenece a la formación acuífera Confluencia, la cual se constituye de cuatro niveles de terrazas asociadas con los cambios del nivel del mar durante el Pleistoceno. Esta formación se compone por depósitos bien estratificados de origen fluvio-aluvial (es decir, arenas, gravas y limos). Hidrogeológicamente es menos permeable que los depósitos fluviales antiguos y modernos de los cuales están compuestos por la mayoría los otros sectores, debido a su mayor cantidad de arcilla y su mayor grado de consolidación (SERPLAC-DGA-ONU-CORFO, 1979; Salazar-Gutiérrez, 2012; GFC Ingenieros, 2015a; Hidrogestión, 2021).

Los datos de los modelos de resistividad proporcionado en este estudio (Figuras A3a1.65- A3a1.84) y revisados de estudios anteriores (Yáñez Vidal, 2017; GEODATOS, 2012b y 2015), juntos con las estratigrafías de los pozos disponibles (Figuras A3a2.12-A3a2.14) muestran un alto nivel de homogeneidad a lo largo del sector. Además, los transectos TEM efectuados muestran un buen nivel de homogeneidad a lo ancho del sector (Figuras A3a1.66- A3a1.67, A3a1.68- A3a1.71, A3a1.64 con A3a1.73, A3a1.75- A3a1.76, A3a1.80- A3a1.81 y A3a1.83- A3a1.84).

A excepción de los sondeos más cercano a los Altos de Talinay (Figuras A3a1.83- A3a1.84), ningún modelo de resistividad alcanza la roca basal y el relleno sedimentario abarca todas las capas de resistividad modeladas. Las columnas estratigráficas más cercanas a la confluencia entre el río Grande y el río Hurtado muestran la presencia de roca alterada entre los 65 y 125 metros de profundidad. En este sector, el espesor del relleno sedimentario modelado por López et al. (2019) alcanza un potencial de 500 metros en su parte más profunda (al altura del pueblo La Torre) y de acuerdo con este modelo y los datos gravimétricos disponibles, tiene una profundidad entre los 100 y 300 metros en la mayoría de este sector. De hecho, aparte por los sondeos mencionados, en los otros sondeos del sector se alcanzaron profundidades máximas de exploración entre 66.57 (Figura A3a1.66) y 205.34 metros (Figura A3a1.79) sin alcanzar la profundidad a la roca basal.

La primera capa, con un espesor que varía entre 1.44 (Figura A3a1.75) y 19.21 metros (Figura A3a1.66) se interpretó como material permeable saturado (grava, arena y bolones) a lo largo de todo el sector. Cabe señalar que desde la junta con la quebrada Ingenio (Figuras A3a1.72- A3a1.84) la resistividad de esta capa baja (desde 100-90  $\Omega\text{m}$  hasta 40-80  $\Omega\text{m}$ ) debido al aporte de agua más conductiva (eléctricamente) de esta quebrada. Además, la junta con el estero Punitaqui a nivel de los Altos de Talinay (Figuras A3a1.83- A3a1.84) corresponde a un adicional disminución en los valores de resistividad de esta primera capa (que baja alrededor de 30  $\Omega\text{m}$ ) debida al aporte del agua más conductiva del estero Punitaqui (GCF Ingenieros, 2015a). La presencia de un nivel freático superficial es confirmada de los niveles otorgado por el Modelo Limarí 2020 y por los datos de los pozos de monitoreo DGA disponibles en el sector.

Las segunda y tercera capa, con espesores que varían respectivamente entre 2.29 (Figura A3a1.77) y 34.62 metros (Figura A3a1.66) y entre 2.58 (Figura A3a1.61) y 69.91 metros (Figura A3a1.72), se interpretó como sedimentos finos impermeables saturado (arcilla y limo) con una mayor concentración de limo en la capa superior que siempre presenta valores levemente menor de resistividad respecto a la capa subyacente. La tercera capa es la última alcanzada en la profundidad de exploración de los sondeos más cercanos a la confluencia entre río Grande y río Hurtado (Figuras A3a1.65- A3a1.66).

La cuarta capa tiene un espesor entre 0.68 (Figura A3a1.67) y 16.32 metros (Figura A3a1.73) y se interpretó como sedimento permeable saturado (grava, bolones y arena). Cabe señalar que en esta capa más profunda, la influencia de la conductividad del agua llevada de la quebrada Ingenio y del estero Punitaqui desaparece.

La última capa, en el caso del transecto cerca a los Altos del Talinay (Figura A3a1.83- A3a1.84) se interpretó como roca basal, que empieza a una profundidad de 21.3 y 37.06 metros, de acuerdo con datos gravimétricos cercanos y con el informe de López et al. (2019). En el resto del sector esta capa pertenece todavía al relleno sedimentario y se interpretó compuesta por material fino impermeable saturado (limo y arcilla) y se extiende hasta la profundidad máxima de exploración del sondeo TEM.

Con respecto al relleno aluvial modelado, los datos de dos pruebas de bombeo efectuadas en la parte central de este sector proporcionan valores de conductividad hidráulica del orden de  $10^{-3}$  y  $10^{-7}$  m/s que corresponden respectivamente a gravas y arcillas. Estos datos confirman la estructura de relleno modelada, visto que el valor de conductividad más elevado (es decir,  $10^{-3}$  m/s y correspondiente a gravas) proviene de una prueba de bombeo de un pozo poco profundo (15 metros), donde la influencia de la primera capa más permeable es predominante; mientras que el otro valor (es decir,  $10^{-7}$  m/s y correspondiente a arcilla) resulta de una prueba de bombeo de un pozo mucho más profundo (es decir, 100 metros), donde es mayor la influencia de las capas impermeables modeladas más profundas y en general un mayor espesor total respecto a las capas permeables.

En la Tabla A3.8 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

## **Estero Punitaqui**

Los resultados obtenidos desde los modelos de resistividad (Figuras A3a1.85- A3a1.86) y la columna estratigráfica disponible (Figuras A3a2.15), muestran un buen nivel de homogeneidad a lo largo de este sector; además, el transecto revisado (GEODATOS, 2012a) exhibe una buena homogeneidad a lo ancho del sector.

Como hacen notar en su trabajo López et al. (2019), la profundidad a la roca basal tiene un gradiente importante en esta área, con puntos de gravimetría que proporcionan profundidades del orden de 200 metros (cerca de Socos) hasta las decenas de metros (cerca de los Altos de Talinay). Los mismos resultados se deducen desde la interpretación de los dos sondeos TEM efectuados en este sector. El primero, cerca de Socos (Figura A3a1.85) presenta una profundidad máxima de exploración de 97.25 metros, sin alcanzar la roca basal, mientras que el segundo, más cercano a los altos de Talinay (Figura A3a1.86), indica la presencia de roca alterada a 45.06 metros de profundidad. El relleno sedimentario se modeló con las primeras tres capas en todo el sector y con las totalidad de las capas donde su potencial es máximo (es decir, cerca de Socos).

Las primeras dos capas se interpretaron como material permeable saturado (arena y grava) y tienen espesores que varían respectivamente entre 7.44 (Figura A3a1.85) y 11.72 metros (Figura A3a1.86) y entre 22.39 (Figura A3a1.85) y 29.69 metros (Figura A3a1.86). Como se menciona en la descripción del sector Limarí arriba de los Altos de Talinay, el estero Punitaqui lleva agua con alta conductividad eléctrica debida a la presencia de cloruros y sulfatos disueltos (GCF Ingenieros, 2015a). Por este motivo estas dos capas presentan resistividades menores, comparadas a los valores esperados por arenas y gravas saturadas con agua no contaminada. En lo específico, la segunda capa presenta valores más bajos indicando o material más porosos (prevalencia de grava sobre arena) o una mayor concentración de sulfatos y cloruros respecto a la capa superior. Cabe señalar que dentro de este sector el nivel freático en los puntos de sondeos se encuentra entre la superficie y los 3 metros de profundidad de acuerdo con los resultados del Modelo Limarí 2020.

La tercera capa, aunque los valores de resistividad no se alejan mucho de las dos capas sobreyacentes, se interpretó constituida por sedimento fino impermeable saturado (arcilla limosa) debido a la información proveniente de la columna estratigráfica disponible (Figura A3a2.15). Esta capa tiene un espesor entre 3.65 (Figura A3a1.86) y 9.53 metros (Figura A3a12.85).

La cuarta capa, en el caso del sondeo más cercano a los Altos de Talinay (Figura A3a1.86), se interpretó como roca basal alterada/meteorizada y se extiende hasta la máxima profundidad de exploración de este sondeo (es decir, 48.64 metros). En el otro sondeo (Figura A3a1.85) esta capa tiene un espesor de 2.71 metros y se interpretó como material permeable saturado (grava y arena), donde la mayor resistividad respecto a las dos primeras capas muestra una conductividad menor del agua contenida en los poros. En el caso de este último sondeo, la última capa modelada fue interpretada como material impermeable saturado (arcilla) y se extiende de 42.07 hasta 97.25 metros profundidad (su profundidad máxima de exploración).

En la Tabla A3.9 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

## **Río Limarí abajo de los Altos de Talinay**

En este sector, no se encuentran columnas estratigráficas, así que la interpretación hidroestratigráfica de los modelos 1D de resistividad (Figuras A3a1.87- A3a1.93) se basó sobre datos de literaturas, observaciones de terreno y las informaciones proporcionadas en los sectores adyacentes (es decir, estero Punitaqui y río Limarí arriba de los Altos de Talinay). Los modelos de resistividad muestran una buena homogeneidad de este sector en su largo y ancho (como se observa en los transectos en Figuras A3a1.89- A3a1.90 y A3a1.92- A3a1.93).

Son excepciones los dos sondeos del transecto hechos en la playa de la desembocadura del río (Figuras A3a1.92- A3a1.93), donde los resultados se diferencian del resto del sector. En esta aérea, las primeras

dos capas se interpretaron como arena saturada con agua del mar, con un espesor total entre los 5.62 (Figura A3a1.93) y 5.98 metros (Figura A3a1.92). La tercera y cuarta capa se interpretaron como una lengua de basalto (visible en afloramientos a los bordes del cauce) que abarca profundidades entre 5.62 y 7.41 metros. La última capa se interpretó como agua marina y presenta valores de resistividad extremadamente bajo (menores de  $1 \Omega m$ ).

En los restantes sondeos de este sector (Figuras A3a1.87- A3a1.91), la roca basal se encuentra alterada a una profundidad que varía entre 15.61 metros (Figura A3a1.88) y 37.73 metros (en la junta con la quebrada Las Vacas; Figura A3a1.89) y abarca las últimas dos capas modeladas. Estos resultados son coherentes con los datos gravimétricos disponibles en este sector, que identifican la roca basal a una profundidad de 20 metros (GCF Ingenieros, 2015a). El relleno sedimentario en esta área abarca las tres primeras capas.

La primera capa tiene un espesor entre 4.92 (Figura A3a1.90) y 11.01 metros (Figura A3a1.87) y se interpretó como material permeable saturado (arena y grava, de acuerdo a los sectores de continuidad hidrogeológica más arriba). Como en el estero Punitaqui y el río Limarí arriba de los Altos de Talinay, la resistividad de esta capa refleja la presencia de agua con alta conductividad eléctrica. Cabe señalar una leve disminución de la resistividad de esta capa en correspondencia a la junta con la quebrada Las Vacas (Figuras A3a1.89- A3a1.91), probablemente debida al aporte de agua más conductiva da parte de esta quebrada. En este sector el nivel freático proporcionado del Modelo Limarí 2020, se encuentra entre la superficie y los 10 metros de profundidad, y por lo tanto coherente con esta interpretación.

La segunda capa, tiene un espesor variante entre 3.87 (Figura A3a1.88) y 22.76 metros (Figura A3a1.89), y se interpretó como sedimentos finos impermeables saturados (arcilla y/o limo); mientras que la tercera capa, con un espesor entre 2.79 (Figura A3a1.88) y 10.42 metros (Figura A3a1.90) está constituida por sedimentos más gruesos y permeables saturados (grava y arena).

Como se ha dicho, las últimas dos capas se interpretaron como roca basal, con diferentes niveles de alteraciones. En los sondeos más aguas arriba (Figura A3a1.87- A3a1.88), se muestra un incremento en los valores de resistividad con la profundidad, que significa una menor alteración de la roca; mientras que los sondeos desde la junta con la quebrada Las Vacas abajo presentan una mayor alteración en la capa más profunda (Figuras A3a1.89- A3a1.91). En esta parte del sector la roca alterada alcanza la máxima profundidad de exploración, que varía entre 55.38 (Figura A3a1.90) y 120.22 metros (Figura A3a1.91).

En la Tabla A3.10 se resumen los resultados de la caracterización hidroestratigráfica de este sector.

## Referencias

- Auken, E.A., Christiansen, A.V., Fiandaca, G., Schamper, C., Behroozmand, A.A., Binley, A., Nielsen, E., Effersø, F., Christensen, N.B., Sørensen, K.I., Foged, N. and Vignoli, G. [2015]. *An overview of a highly versatile forward and stable inverse algorithm for airborne, ground-based and borehole electromagnetic and electric data*. Exploration Geophysics, **46**, 223–235.
- Christiansen, A.V. and Auken, E. [2012]. *A global measure for depth of investigation*. Geophysics, **77**, WB171–WB177.
- Christiansen, A. V., Auken, E. and Sørensen, K. [2009]. *The transient electromagnetic method*. In Kirsch, R. (Ed.), *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology* (2nd ed., pp. 179–225). Springer-Verlag, Berlin
- Dirección General del Aguas (2008). *Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Limarí* (S.D.T. N° 268). Informe técnico, departamento de administración de recursos hídricos.
- Flores, A. C. and Aliaga, A. M. [2020]. *Diagnóstico del Estado Hidrogeológico de la Cuenca del Limarí*. Informe Técnico. Gobierno de Chile, ministerio de obras públicas, dirección general de aguas, división de estudios y planificación.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. [1979]. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- GCF Ingenieros [2015a]. *Estudio geofísico e hidrogeológico en la cuenca del río Limarí*. Informe Final. Corporación de Fomento de la Producción, Subdirección de Entorno para la Innovación: 209p.
- GCF Ingenieros [2015b]. *Análisis sector costanera de Ovalle a partir de nuevos antecedentes geofísicos*. Septiembre 2015.
- GEODATOS [2012a]. *Estudio geofísico nanoTEM y TEM GRUPO 1: Porvenir, Socos Barraza alto, Chalinga, Camarico Chico*. Diciembre 2012.
- GEODATOS [2012b]. *Estudio geofísico nanoTEM y TEM GRUPO 2: la Torre, las Sossas, Graneros, San Marcos, la Isla, la Ligua de Cogotí*. Diciembre 2012.
- GEODATOS [2013a]. *Estudio geofísico de resistividad métodos transiente electromagnéticos nanoTEM y TEM. Proyecto La Paloma, sector embalse la Paloma*. Marzo 2013.
- GEODATOS [2013b]. *Estudio geofísico transiente electromagnéticos TEM y nanoTEM. Proyecto cuenca del Limarí, sectores Algarrobo, Villaseca, Santa Catalina, Carachilla y la Paloma*. Julio 2013.
- GEODATOS [2013c]. *Estudio geofísico nanoTEM. Proyecto Combarbalá*. Octubre 2013.
- GEODATOS [2014a]. *Estudio geofísico nanoTEM. Proyecto sectores Farellones-Rincón de las Chilcas*. Febrero 2014.
- GEODATOS [2014b]. *Estudio geofísico mediante gravimetría y TEM. Proyecto cuenca del río Limarí*. Septiembre 2014.
- Hidrogestión [2021]. *Análisis hidrogeológico para alternativas de ubicación de pozos en acuíferos cuenca río Limarí con modelación existente para explotación de aguas subterráneas en sequía*. Informe Final.
- Kirsch, R. [2009]. *Petrophysical properties of permeable and low-permeable rocks*. In Kirsch, R. (Ed.), *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology* (2nd ed., pp. 1–21). Springer-Verlag, Berlin
- López, L. V., Donoso, C. B., Huerta, S. B., Cifuentes, J. L. y Fuentes, F. C. [2019]. *Geometría de la cuenca del río Limarí, Región de Coquimbo*. Informe Registrado IR-19-78. Servicio nacional de geología y minería.
- Ministerio de obras públicas y transportes, Dirección general de aguas, Departamento de Hidrogeología [1978]. *Catastro de pozos IV región*. Investigación de recursos hidráulicos en la IV región (Proyecto CHI/69/535).
- OLIVO OLIMPOS S.A. [2012]. *Estudio geofísico en el área de Ovalle, IV Región*.

Pourrier, J. [2014]. *Caractérisation des processus de transferts et d'interactions entre les compartiments hydrologiques, hydrogéologiques et cryosphériques d'un bassin versant andin semi-aride soumis à une forte variabilité climatique (Vallée de l'Elqui- Chili)*. Doctoral dissertation, Montpellier 2.

Ramos [2020]. *Análisis actualizado de la disponibilidad hídrica subterránea en la cuenca del río Limarí*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Ambiental, Universidad de la Serena, Facultad de Ingeniería, Departamento de Minas.

Reynolds, J. [2011]. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics (2nd Ed.)*. John Wiley & Sons, UK.

Salazar-Gutiérrez, P. A. [2012]. *Avances en el conocimiento de la relación aguas superficiales-aguas subterráneas en la cuenca del Limarí, región de Coquimbo*. Proyecto de memoria para optar al título de ingeniero civil ambiental. Universidad de la Serena facultad de ingeniería departamento de minas.

SEGMI [2016]. *Estudio gravimétrico sector de Tongoy- río Limarí*. Proyecto FIC-R Código BIP 304041730. Región de Coquimbo.

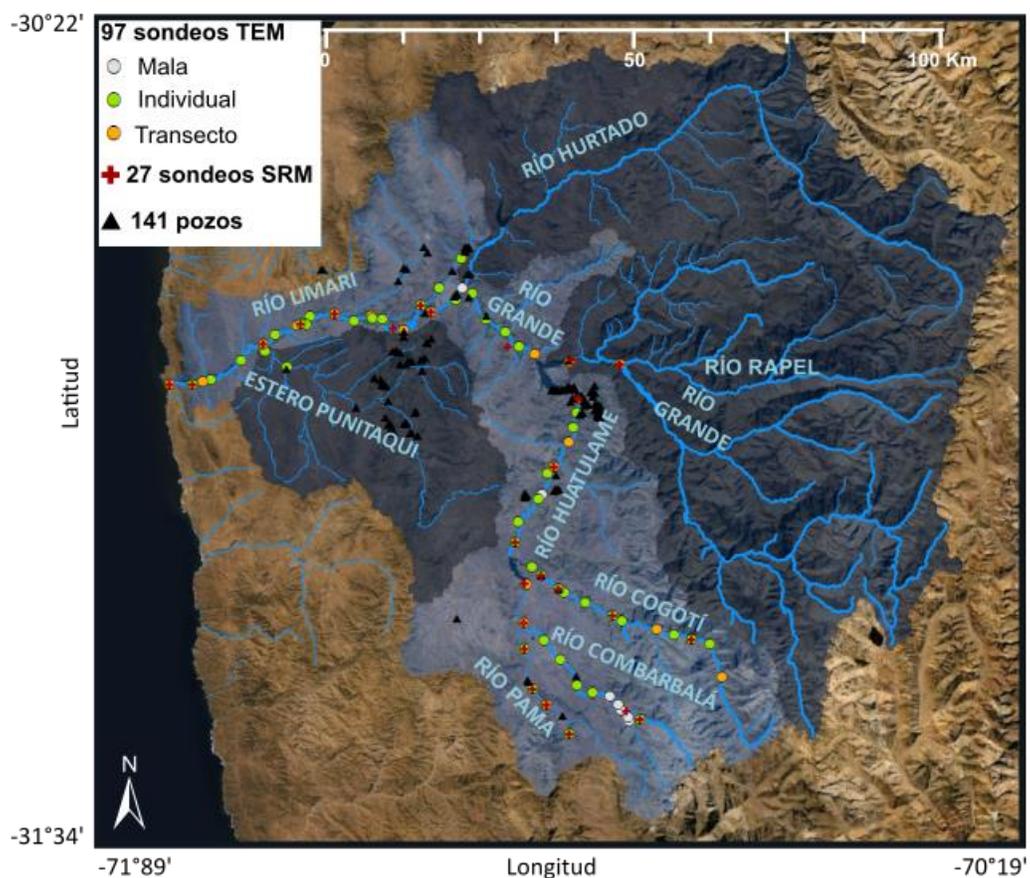
SEGMI [2018]. *Estudio gravimétrico río Limarí alto, (ríos Hurtado, Grande y Guatulame) comuna de Ovalle, IV Región*.

SERPLAC, DGA, ONU, CORFO [1979]. *Hidrogeología de la Cuenca del Río Limarí*. Investigación de Recursos Hidráulicos en la IV Región, Proyecto CHI-535

Viezzoli A., Christiansen A.V., Auken E. and Sørensen, K. [2008]. *Quasi-3D modeling of airborne TEM data by spatially constrained inversion*. *Geophysics*, **73**(3), F105–F113.

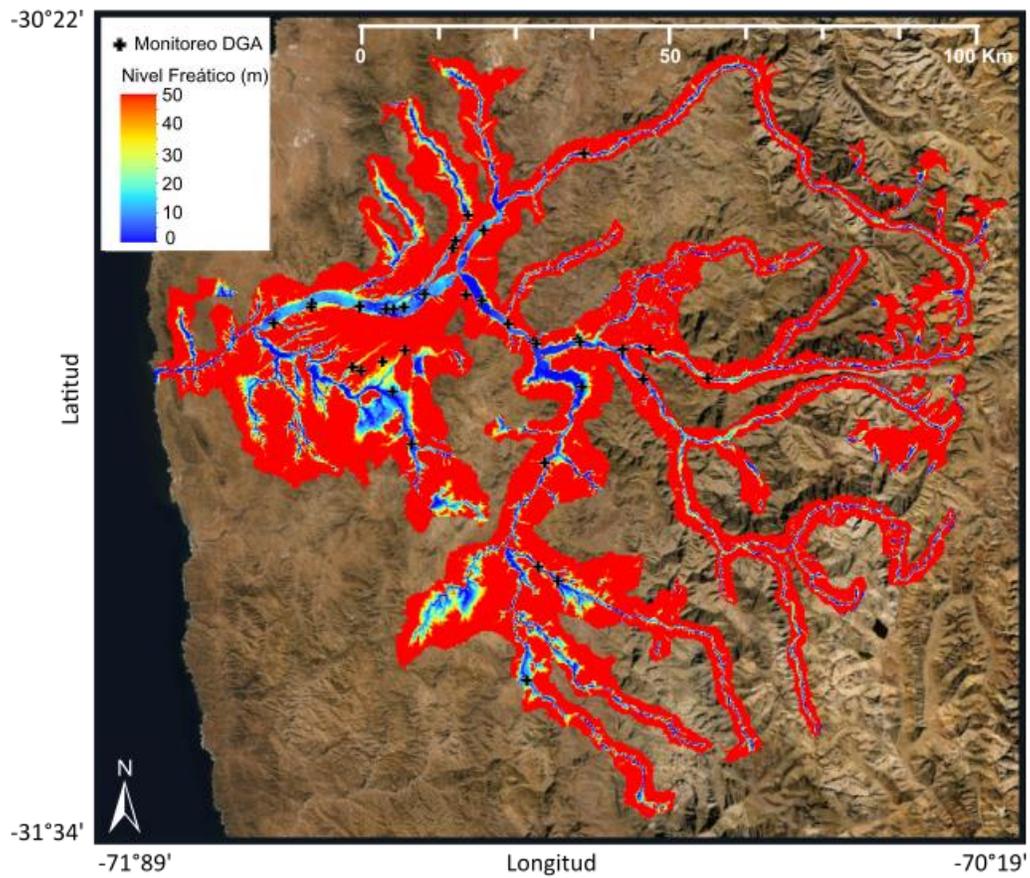
Yáñez Vidal, R.A. [2017]. *Análisis interpretativo del recurso hídrico subterráneo utilizando el método transiente electromagnético en el dominio del tiempo en la cuenca del Río Limarí, IV Región de Coquimbo, Chile*. Habilitación Profesional para optar al Título Profesional de Geofísico. Universidad de Concepción.

## Figuras

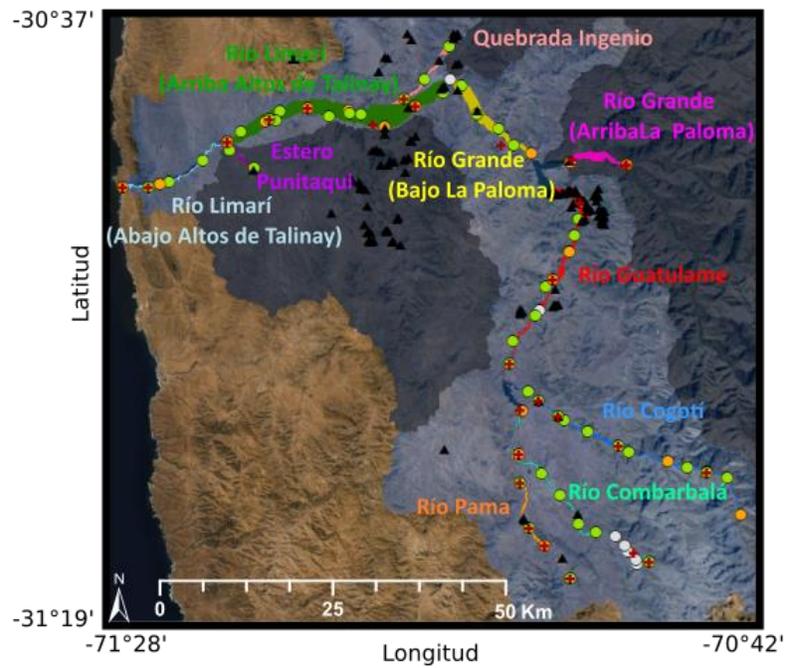


**Figura A3.1** Área de estudio y ubicaciones de medición. Área de enfoque (sombreado celeste) dentro de la cuenca del río Limarí (sombreado azul oscuro) que muestra los ríos principales, así como las ubicaciones de medición TEM, SRM y de los pozos donde se tienen informaciones estratigráficas. Fuente: Esri<sup>1</sup>.

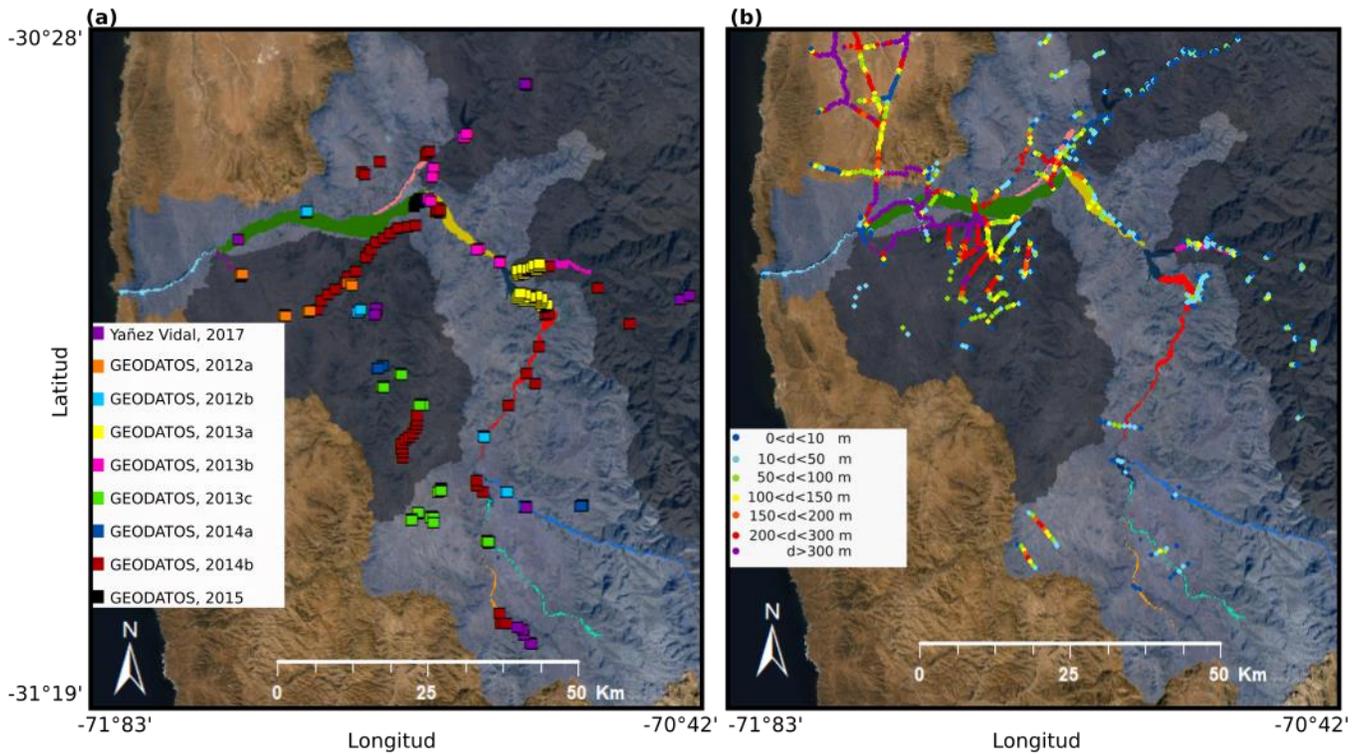
<sup>1</sup> Esri, Digital Globe, GeoEye, Earthstar Geographic, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



**Figura A3.2** Profundidad del nivel freático (promedio 1964-2018) estimado con el modelo de flujo de agua subterránea Limarí 2020 (Flores and Aliaga, 2020). En figura se presentan también las ubicaciones de los pozos de monitoreo de la DGA. Fuente: Esri1.



**Figura A3.3** Sectores de continuidad hidrogeológica definidos dentro del área de estudio. En figura son representados también los puntos de mediciones TEM (círculos), SRM (cruces) y los pozos con informaciones estratigráfica (triángulos), previamente representados en Figura 1. Fuente: Esri1.



**Figura A3.4** Datos geofísicos previos disponibles dentro del área de estudio. (a) Sondeos TEM y (b) estaciones gravimétricas (OLIVO OLIMPOS S.A., 2012; GEODATOS, 2014b; GCF Ingeniero, 2015b; SEMI, 2016 y 2018;). Cada estación gravimétrica es representada con un color diferente de acuerdo con su interpretación en términos de profundidad a la roca basal ( $d$  en la leyenda). Se representan también los sectores definidos en Figura 3. Fuente: Esri<sup>1</sup>.

## Tablas

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	14.24	3.62	40.61	Material permeable seco (arena)
Capa2	9.82	1.31	41.34	Material permeable seco (bolones, grava y arena)
Capa 3	7.96	1.5	18.7	Material permeable (arena y grava) y material semi permeable (arcilla y arena arcillosa) saturados
Capa 4	9.72	2.63	59.98	Roca basal alterada
Capa 5	71.42	3.19	176.18	Roca basal intacta

**Tabla A3.1** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Cogotí.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	13.17	4.4	29.11	Material impermeable (arcilla) y material permeable (arena, grava y bolones) saturados
Capa2	8.35	2.25	23.71	Material impermeable (arcilla y algunas lentes de limo) y material permeable (arena, grava y bolones) saturados
Capa 3	17.41	3.53	89.04	Roca basal con poca alteración y material permeable saturado (arena, grava y bolones)
Capa 4	15.68	2.3	53.71	Roca basal con mediana alteración
Capa 5	73.92	1.68	147.68	Roca basal con alta alteración

**Tabla A3.2** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Combarbalá.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	16.2	2.43	37.08	Material permeable (grava y bolones) saturado
Capa2	13.17	3.56	37.4	Material permeable (arena) saturado
Capa 3	22.69	4.1	42.75	Roca alterada
Capa 4	17.4	2.44	40.44	Roca alterada con incrustaciones de arcilla
Capa 5	40.69	8.4	90.41	Roca basal intacta

**Tabla A3.3** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Pama.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	18.09	7.63	54.71	Material permeable seco (bolones, grava y arena) y saturado con lentes de material impermeable (arcilla y limo) seco
Capa2	28.01	1	93.25	Material permeable (bolones y grava) seco y saturado
Capa 3	7.4	1	40	Material impermeable (arcilla y limo) saturado
Capa 4	11.62	1.96	52.43	Material permeable (grava, bolones y arena) saturado
Capa 5	49.88	3.82	96.27	Roca basal intacta

**TablaA3. 4** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Guatulame.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	18.13	9.43	31.95	Material permeable (arena y grava/ bolones y grava) saturado
Capa2	15	4.33	30.13	Material semipermeable (grava arenosa con arcilla) y impermeable (arcilla y limo) saturados
Capa 3	18.49	3.01	28.73	Material permeable (bloques, bolones y grava arenosa) y impermeable (arcilla y limo) saturados
Capa 4	8.51	4.22	19.63	Material impermeable (limo) y permeable (conglomerados con arena) saturados
Capa 5	9.29	3.34	15.39	Roca basal intacta

**Tabla A3.5** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Grande arriba del embalse La Paloma.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	7.95	4.94	10.23	Material permeable (grava y arena) saturado
Capa2	25.61	7.39	49.96	Material impermeable (arcilla y arena arcillosa) saturado
Capa 3	13.4	1.33	61.28	Material impermeable (arcilla y arena arcillosa) saturado
Capa 4	17.69	1.97	64.56	Material impermeable (arcilla y arena arcillosa) saturado
Capa 5	5.28	0.2	12.67	Roca basal intacta

**Tabla A3.6** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Grande abajo del embalse La Paloma.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	7.08	2.38	11.44	Material impermeable (limo, arcilla y arena arcillosa) saturado
Capa2	22.52	5.47	40.39	Material permeable (arena y grava) saturado
Capa 3	28.9	1.41	53.13	Material permeable (arena y grava) saturado
Capa 4	9.41	2.51	19.97	Material permeable o semipermeable (arcilla o arena arcillosa) y roca alterada
Capa 5	24.55	19.37	29.72	Material permeable (grava y bolones) saturado

**Tabla A3.7** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica quebrada Ingenio.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	11.11	1.44	19.21	Material permeable (grava, arena y bolones) saturado
Capa2	12.33	2.29	34.62	Material impermeable (limo y arcilla) saturado
Capa 3	17.4	2.58	69.91	Material impermeable (arcilla y limo) saturado
Capa 4	5.34	0.68	16.32	Material permeable (grava, arena y bolones) saturado
Capa 5	59.85	2.94	171.77	Material impermeable (arcilla y limo) saturado y roca basal intacta

**Tabla A3.8** Resumen caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Limarí arriba de los Altos de Talinay.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	9.58	7.44	11.72	Material permeable (arena y grava) saturado
Capa2	26.04	22.39	29.69	Material permeable (arena y grava) saturado
Capa 3	6.59	3.65	9.53	Material impermeable (arcilla limosa) saturado
Capa 4	3.15	2.71	3.58	Roca basal alterada y material permeable (arena y grava) saturado
Capa 5	55.18	55.18	55.18	Material impermeable (arcilla) saturado

**Tabla A3.9** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica estero Punitaqui.

	Espesor (m)			Material mayoritario
	Medio	Min	Max	
Capa 1	7.71	4.92	11.01	Material permeable (arena y grava) saturado
Capa 2	14.17	3.87	22.76	Material impermeable (arcilla y limo) saturado
Capa 3	6.83	2.79	10.42	Material permeable (grava y arena) saturado
Capa 4	6.12	3.17	8.93	Roca basal alterada
Capa 5	47.86	11.1	90.33	Roca basal alterada

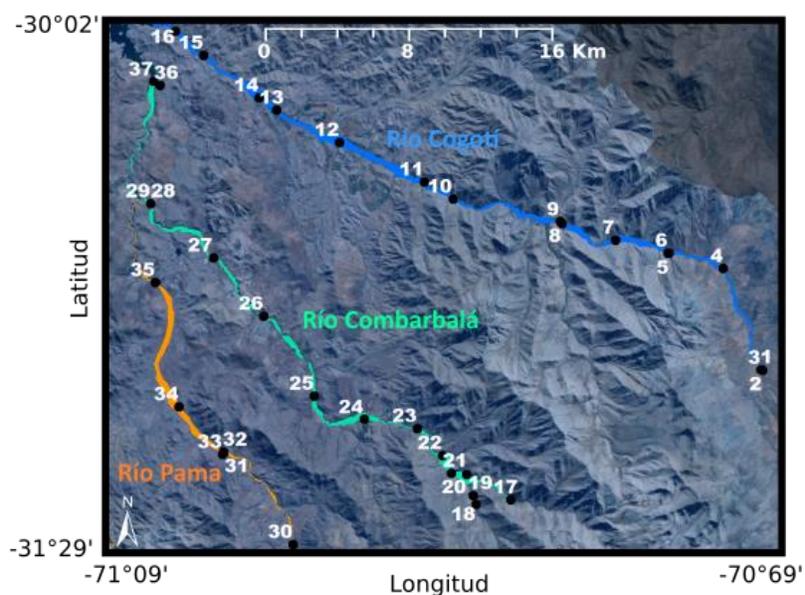
**Tabla A3.10** Resumen de la caracterización hidroestratigráfica del sector de continuidad hidrogeológica río Limarí abajo de los Altos de Talinay (no se consideraron los dos sondeos del transecto hecho en la playa de la desembocadura del río).

## Apéndice 1

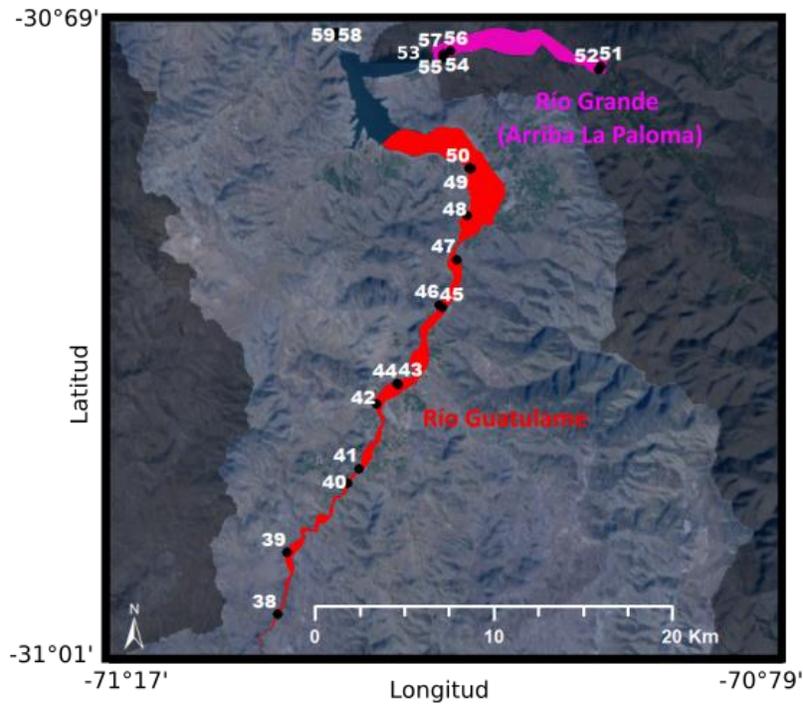
### Resultados de la campaña de terreno de transiente electromagnético

Las dos campañas de terreno en la cuenca del río Limarí con sondeo de transiente electromagnético (TEM) se llevaron a cabo entre febrero y noviembre 2020 la primera, donde se tomaron la mayoría de las mediciones, y entre enero y abril 2021 la segunda. A continuación se presenta el resultado de estas dos campañas y las interpretaciones de los sondeos TEM a través de la inversión estructuralmente restringida (IER) basada en modelos a cinco capas con espesor y resistividad variables.

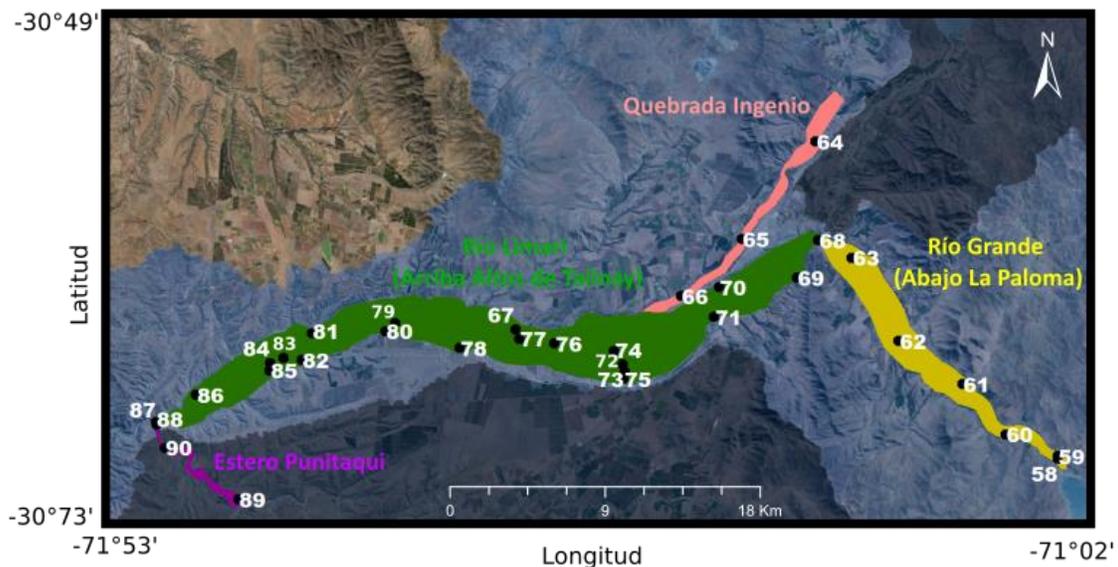
Los resultados obtenidos se dividieron por cada sector de continuidad hidrogeológica (Figuras A3a1.1- A3a1.4). De todos los sondeos interpretados se muestran sus ubicaciones en la cuenca y los datos con sus interpretaciones. En cada imagen se representan los datos de sondeo y sus interpretación (Figuras A3a1.5- A3a1.93), además se presenta al lado izquierdo el modelo a cinco capas de resistividad y espesor variables con un indicación de la máxima profundidad de exploración (DOI del inglés “depth of investigation”) y al lado derecho los datos con su curva de interpretación y una medida de lo ajuste entre los datos y esa curva (“data residual”). Por cada sector se presenta una tabla de resumen (Tablas A3a1.1- A3a1.10) donde las coordenadas GPS son expresadas en el sistema WGS 1984/ UTM zona 19S.



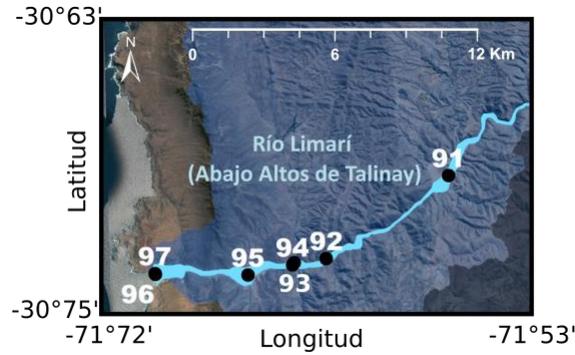
**Figura A3a1.1** Sondeos TEM efectuados en los sectores de continuidad hidrogeológica que cruzan las unidades geomorfológicas de la Cordillera de los Andes y el Cordón Transversal: río Cogotí (en azul, con puntos de sondeo desde 1 hasta 16), río Combarbalá (en verde, con puntos de sondeo desde 17 hasta 37) y río Pama (en naranja, con puntos de sondeo desde 30 hasta 35). Fuente: Esri<sup>1</sup>.



**Figura A3a1.2** Sondeos TEM efectuados en los sectores de continuidad hidrogeológica que cruzan la unidad geomorfológica del Cordón Transversal: río Guatulame (en rojo, con puntos de sondeo desde 38 hasta 50) y río Grande arriba del embalse La Paloma (en fucsia, con puntos de sondeo desde 51 hasta 57). Fuente: Esri<sup>1</sup>.



**Figura A3a1.3** Sondeos TEM efectuados en los sectores de continuidad hidrogeológica que cruzan la unidad geomorfológica de los Pediplanos de la cordillera de la Costa: quebrada Ingenio (en rosa, con puntos de sondeo desde 64 hasta 67) río Limarí arriba de los Altos de Talinay (en verde, con puntos de sondeo desde 68 hasta 88) y estero Punitaqui (en morado, con puntos de sondeo 89 y 90). Además se muestra el sector río Grande abajo del embalse La Paloma (en amarillo, con puntos de sondeo desde 58 hasta 63) que cruza la sola Cordillera de la Costa. Fuente: Esri<sup>1</sup>.



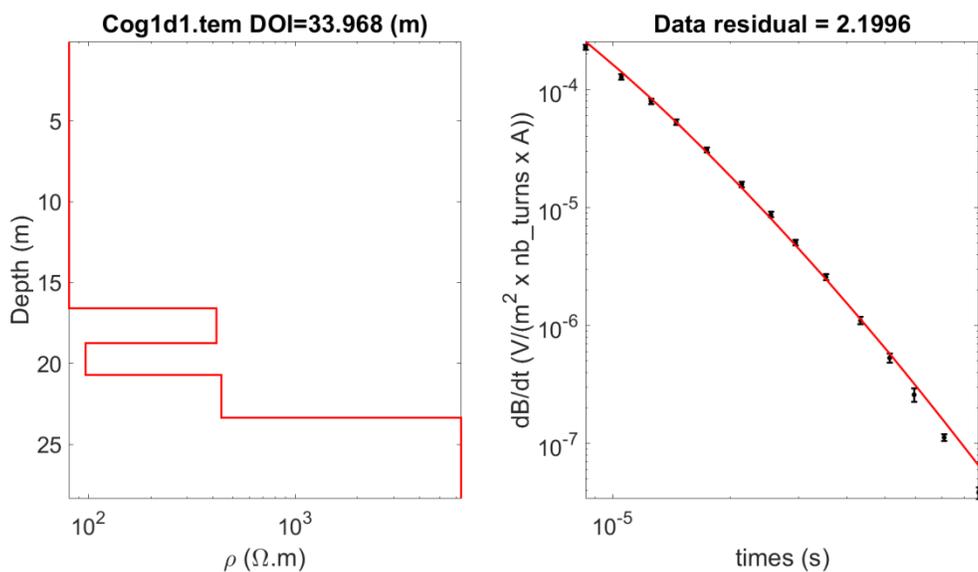
**Figura A3a1.4** Sondeos TEM efectuados en el sector de continuidad hidrogeológica ubicado en la desembocadura del río Limarí y que cruza la unidad geomorfológica de la Cordillera de la Costa y Planicie Litoral: río Limarí abajo de los Altos de Talinay (en azul, con puntos de sondeo desde 91 hasta 97). Fuente: Esri<sup>1</sup>.

### Río Cogotí

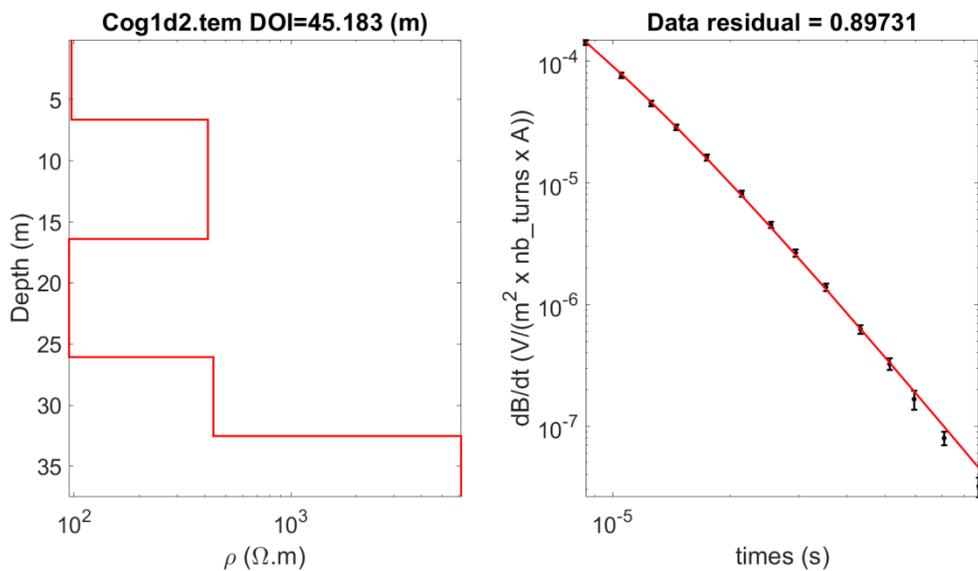
En el sector de continuidad hidrogeológica del río Cogotí se realizaron mediciones en 13 lugares con dos perfiles de transectos, por un total de 16 sondeos TEM (puntos 1-16 en Figura A3a1.1). En la Tabla A3a1.1 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.5-A3a1.20 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
L1	COG1d1	1	337155	6546539	1879	50
	COG1d2	2	337172	6546492	1881	50
	COG1i1	3	337085	6546518	1875	50
	COG2	4	334973	6552224	1643	50
	COG3	5	331938	6553093	1537	50
	COG3b	6	331861	6553084	1551	50
	COG4	7	328906	6553805	1369	50
	L2	COG5i1	8	325891	6554739	1236
COG5i3		9	325799	6554853	1236	50
	COG6	10	319773	6556122	1005	25
	COG6a	11	318168	6557076	950	25
	COG6b	12	313395	6559308	819	25
	COG7	13	309860	6561109	746	50
	COG8	14	308873	6561819	724	50
	COG8b	15	305775	6564197	675	25
	COG9	16	304172	6565541	652	50

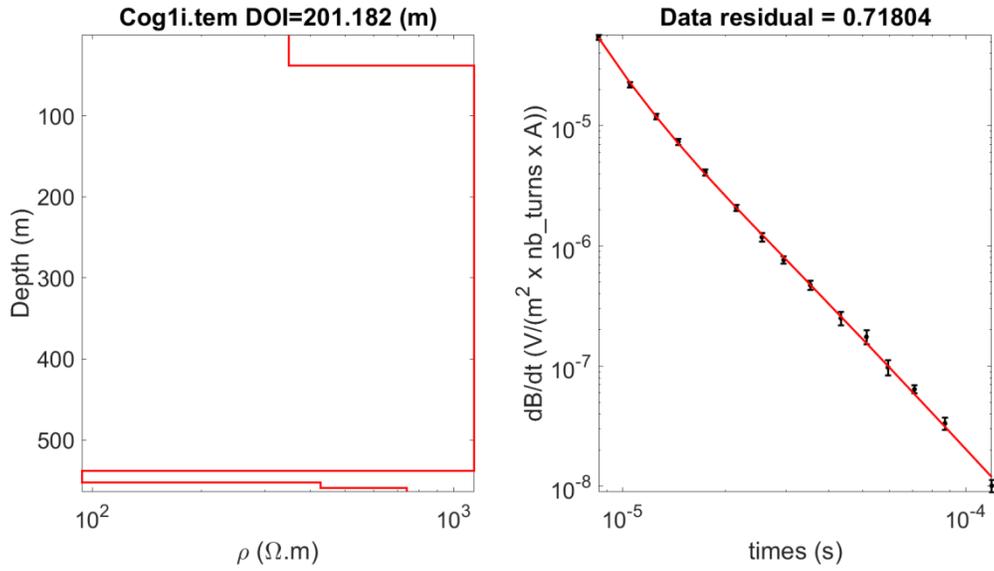
**Tabla A3a1.1** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Cogotí.



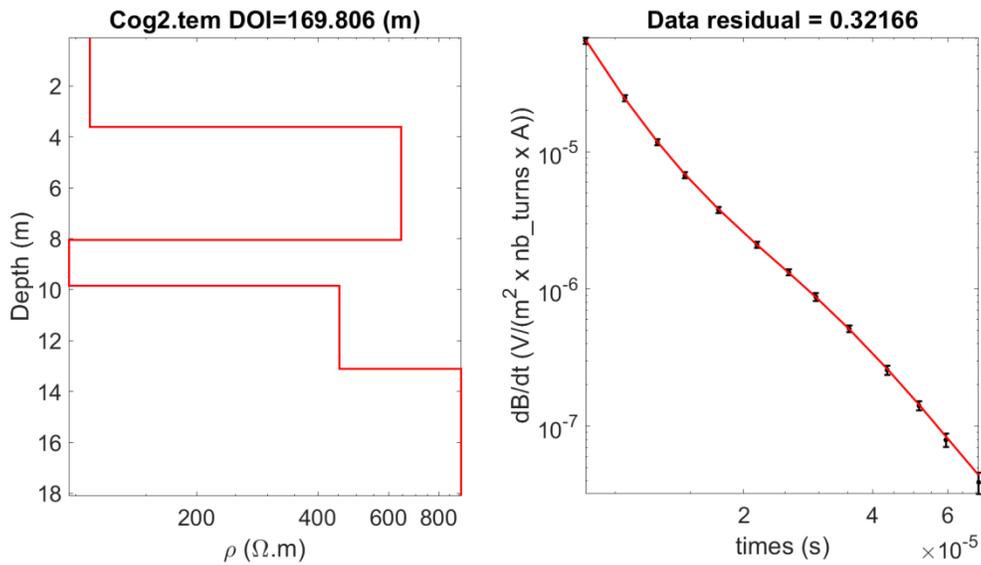
**Figura A3a1.5** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí1d1 (punto 1 en Figura A3a1.1).



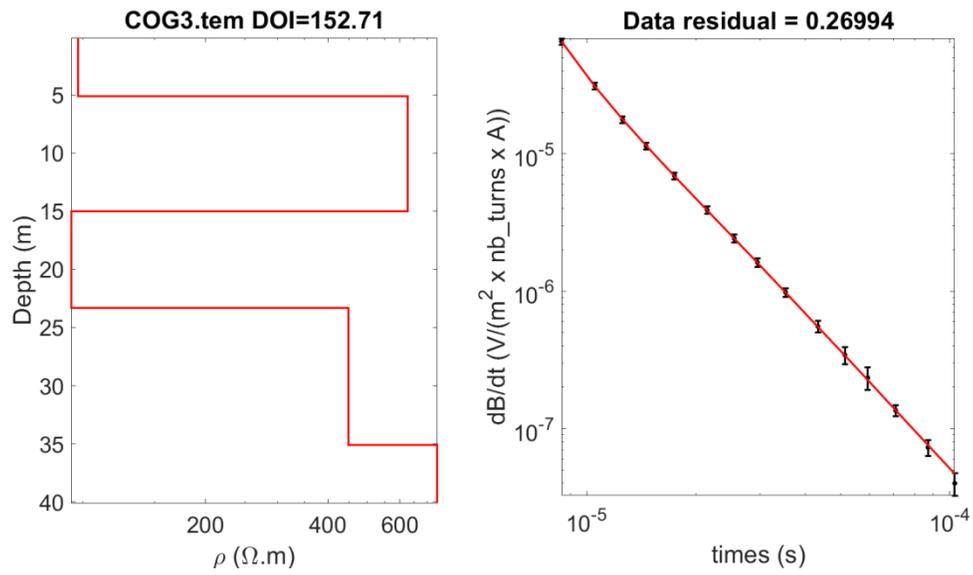
**Figura A3a1.6** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí1d2 (punto 2 en Figura A3a1.1).



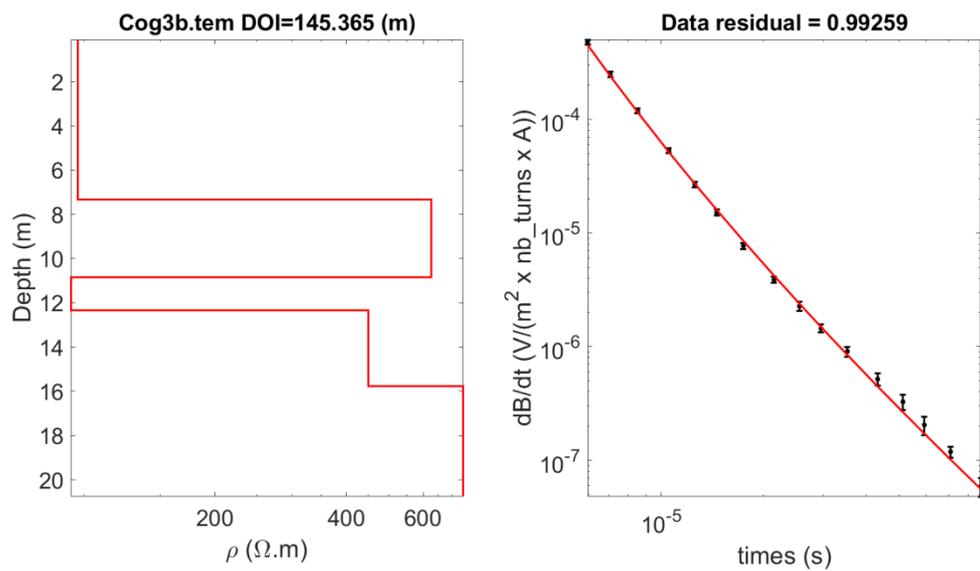
**Figura A3a1.7** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí1i (punto 3 en Figura A3a1.1).



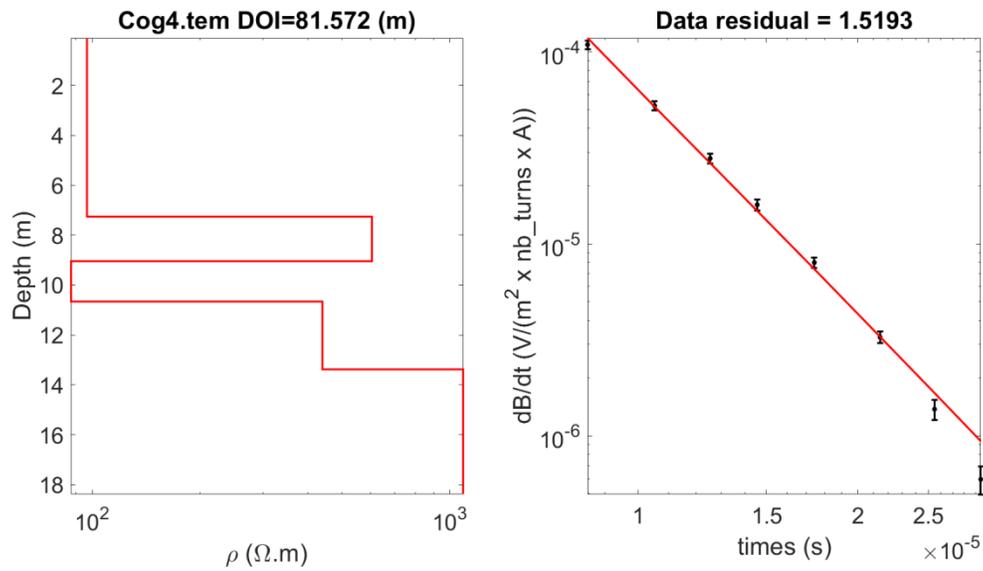
**Figura A3a1.8** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí2 (punto 4 en Figura A3a1.1).



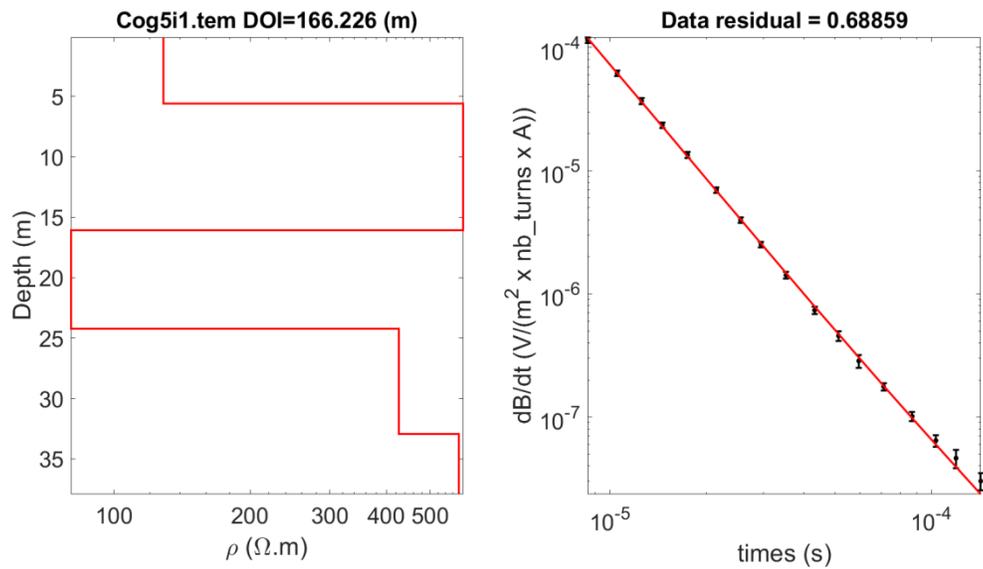
**Figura A3a1.9** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí3 (punto 5 en Figura A3a1.1).



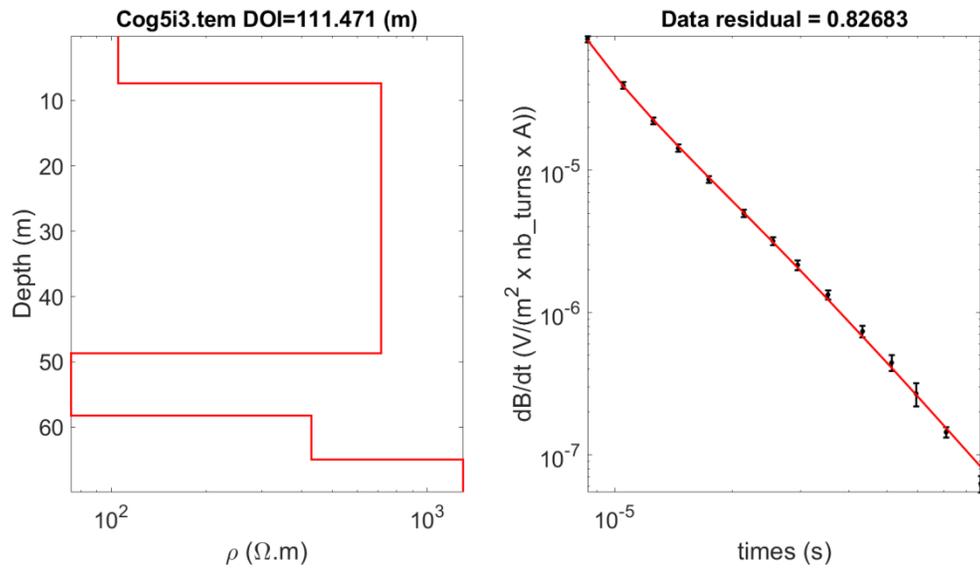
**Figura A3a1.10** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí3b (punto 6 en Figura A3a1.1).



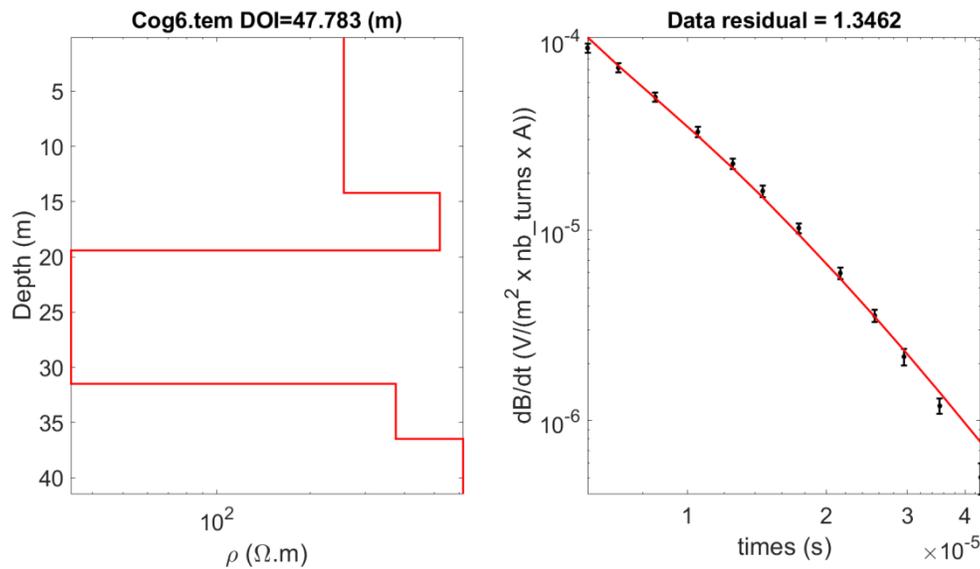
**Figura A3a1.11** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí4 (punto 7 en Figura A3a1.1).



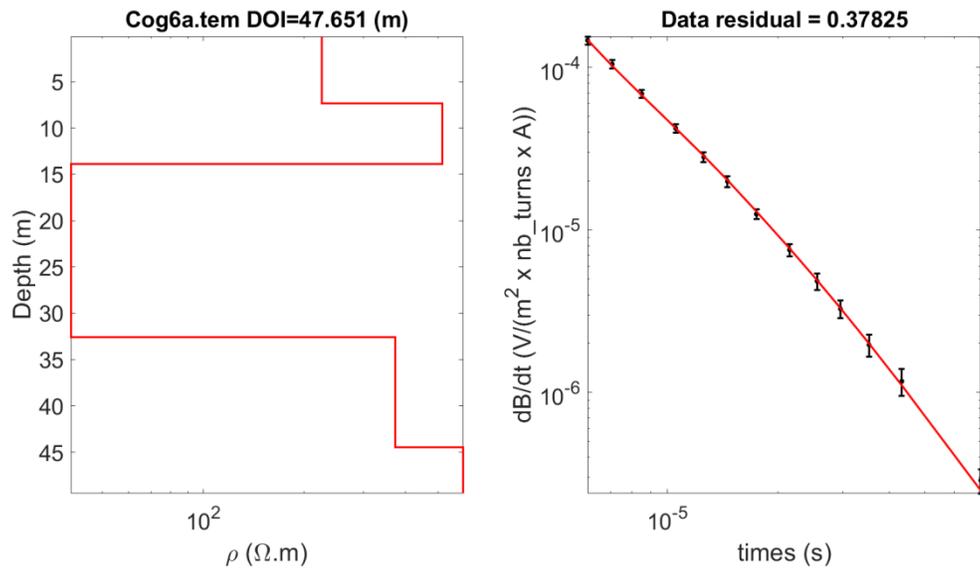
**Figura A3a1.12** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí5i1 (punto 8 en Figura A3a1.1).



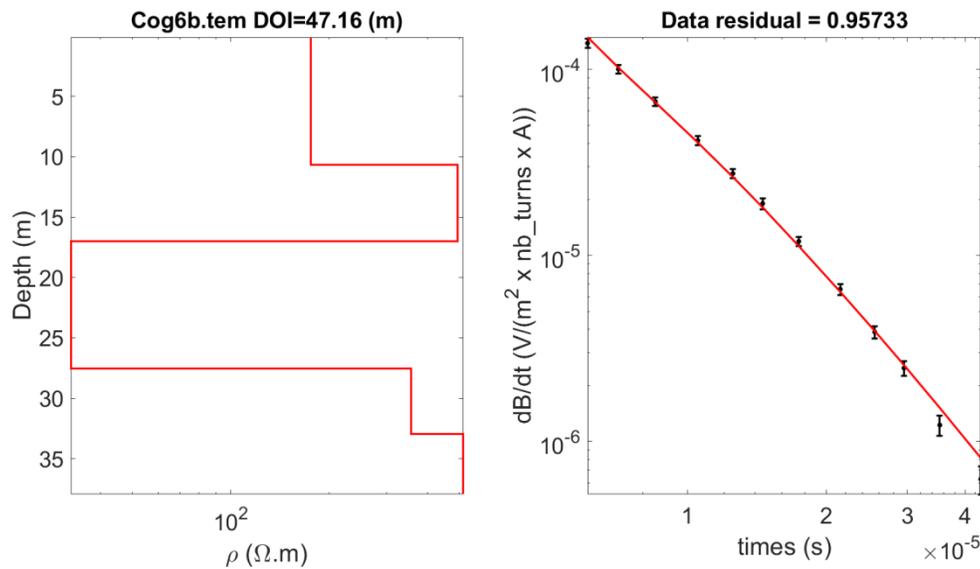
**Figura A3a1.13** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí5i3 (punto 9 en Figura A3a1.1).



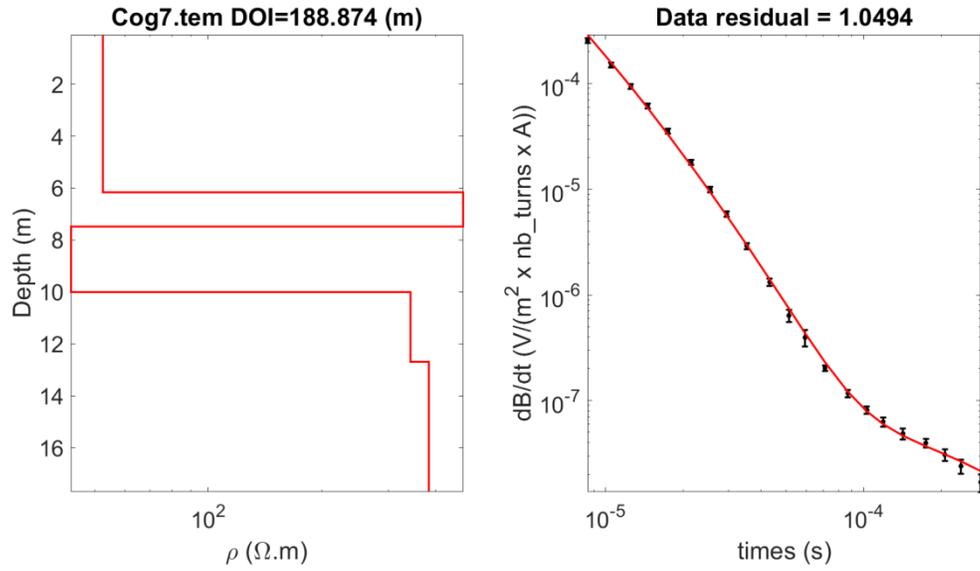
**Figura A2.14** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí6 (punto 10 en Figura A3a1.1).



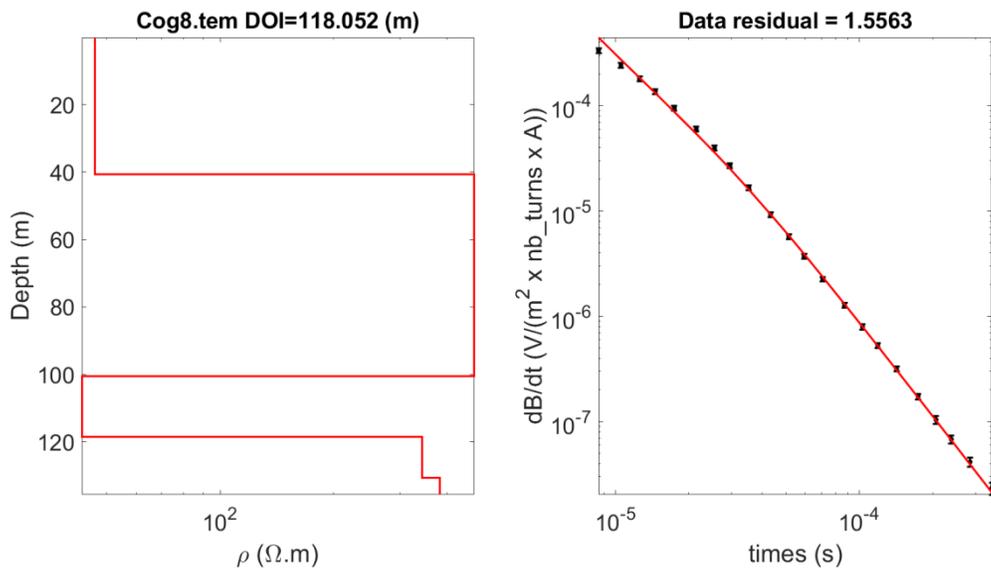
**Figura A3a1.15** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí6a (punto 11 en Figura A3a1.1).



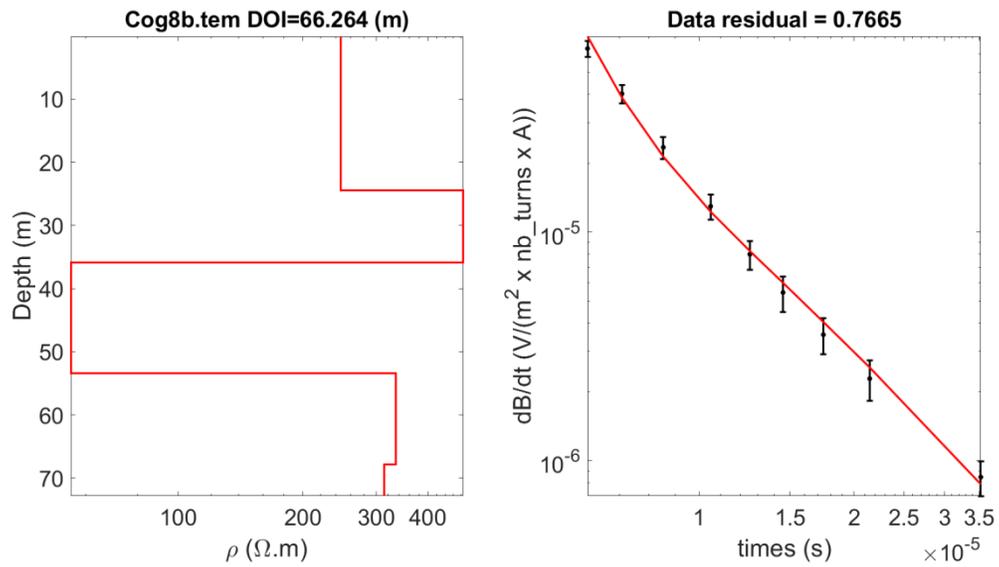
**Figura A3a1.16** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí6b (punto 12 en Figura A3a1.1).



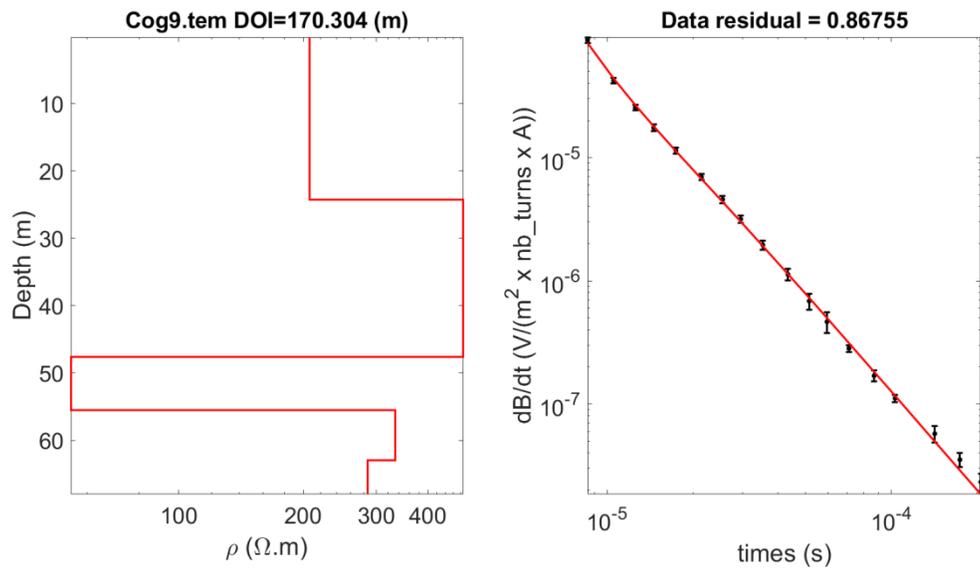
**Figura A3a1.17** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí7 (punto 13 en Figura A3a1.1).



**Figura A3a1.18** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotí8 (punto 14 en Figura A3a1.1).



**Figura A3a1.19** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotf8b (punto 15 en Figura A3a1.1).



**Figura A3a1.20** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Cogotf9 (punto 16 en Figura A3a1.1).

## Río Combarbalá

En el sector de continuidad hidrogeológica del río Combarbalá se realizaron mediciones en 12 lugares con dos perfiles de transecto, por un total de 13 sondeos TEM (puntos 17-29 en Figura A3a1.1). De estos se descartaron 6 sondeos (puntos 18-23 en Figura A3a1.1) debido al alto ruido. Se descubrió después que en esta parte de cabecera, el río Combarbalá es entubado en tubo de PVC, factor que genera un acoplamiento capacitivo de la corriente inducida y por lo tanto una señal oscilante en la medición TEM que no puede ser interpretada. En este sector se incluyen también los resultados obtenidos desde la interpretación de dos sondeos efectuados en el embalse Cogotí (puntos 36 y 37 en Figura A3a1.1). En la Tabla A3a1.2 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.21-A3a1.29 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
	COMB1	17	323014	6539232	1780	50
	COMB2	18	321085	6538948	1671	Río en tubo de PVC
	COMB2a	19	320913	6539456	1635	Río en tubo de PVC
	COMB3	20	320540	6540635	1566	Río en tubo de PVC
	COMB4	21	319684	6540721	1520	Río en tubo de PVC
	COMB5	22	319196	6541700	1467	Río en tubo de PVC
	COMB6	23	317764	6543221	1304	Río en tubo de PVC
	COMB7	24	314780	6543743	1138	25
	COMB8	25	311973	6545037	1000	25
	COMB9	26	309148	6549537	865	50
	COMB10	27	306308	6552806	795	25
L3	COMB11c	28	302789	6555851	737	50
	COMB11d	29	302789	6555851	736	50
L4	ECG1	36	303323	6562498	638	50
	ECG2	37	302945	6562723	635	50

Tabla A3a1.2 Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Combarbalá.

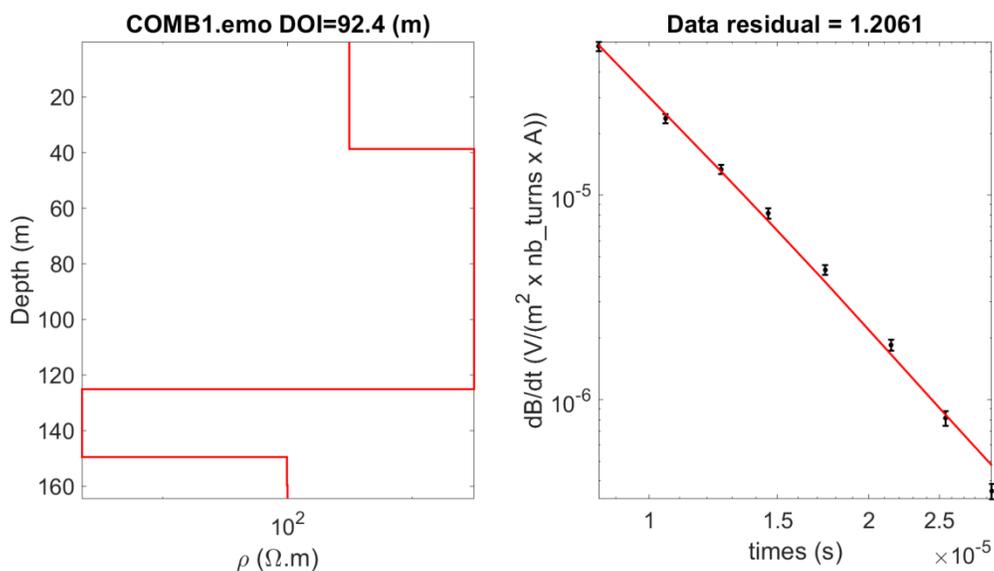
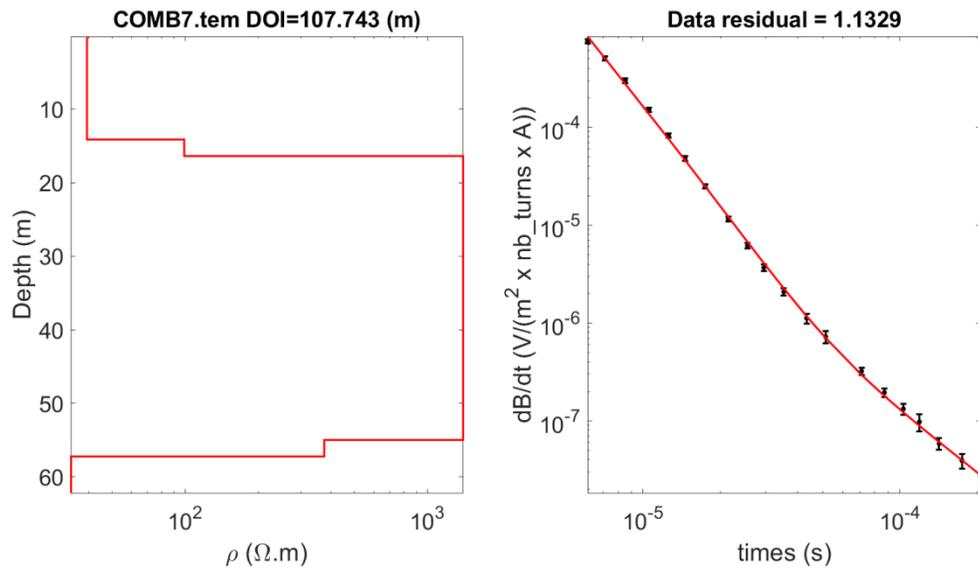
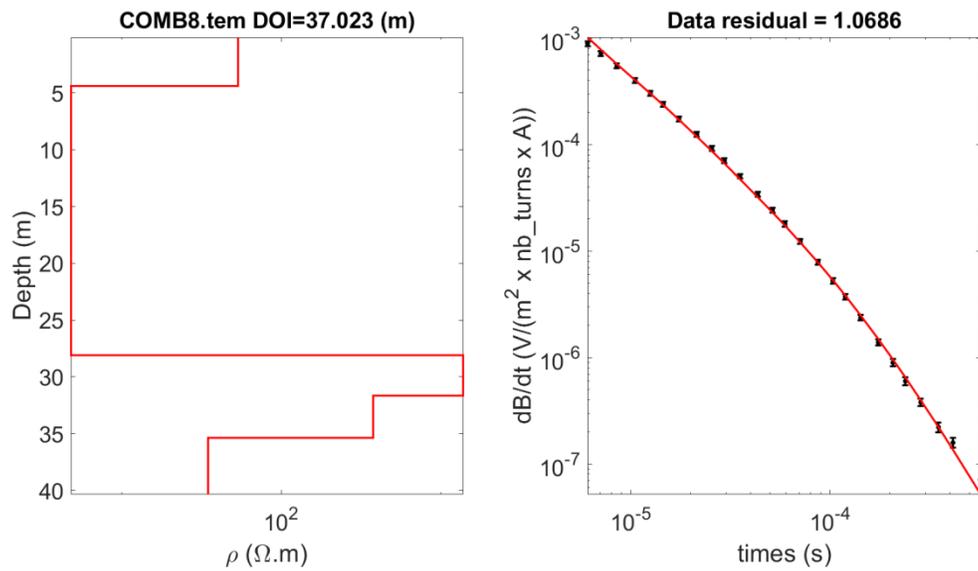


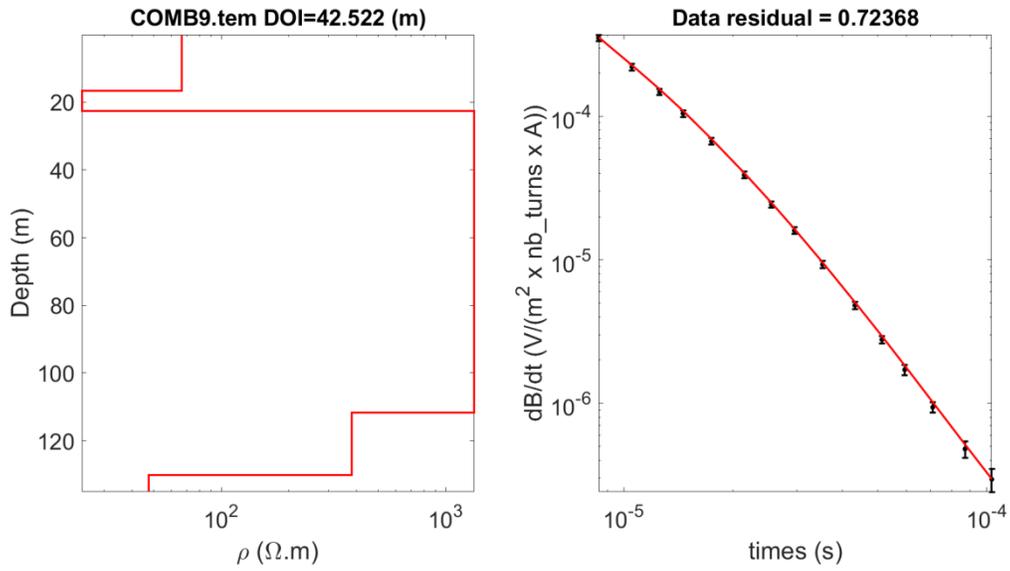
Figura A3a1.21 Resultados de la interpretación del sondeo TEM Combarbalá1 (punto 17 en Figura A3a1.1).



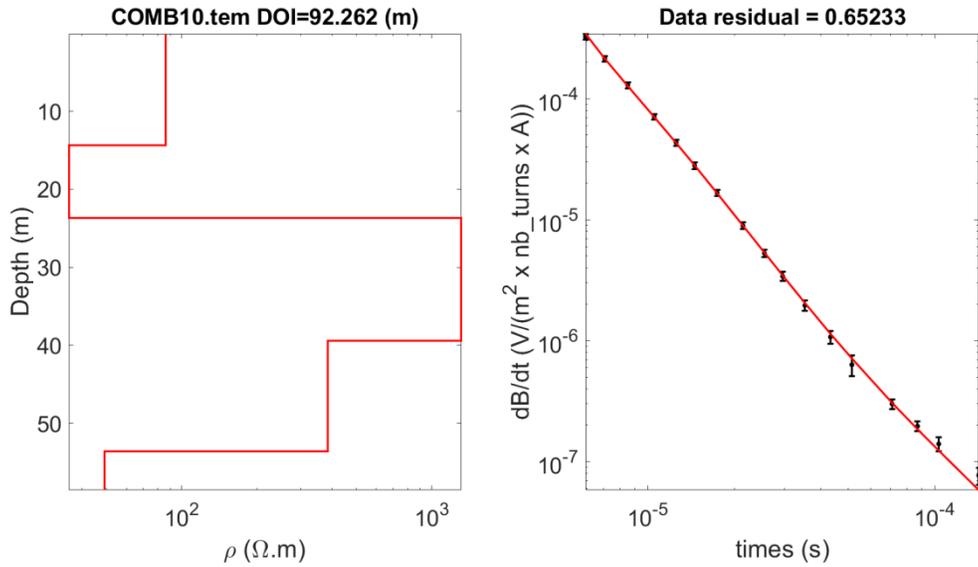
**Figura A3a1.22** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Combarbalá7 (punto 24 en Figura A3a1.1).



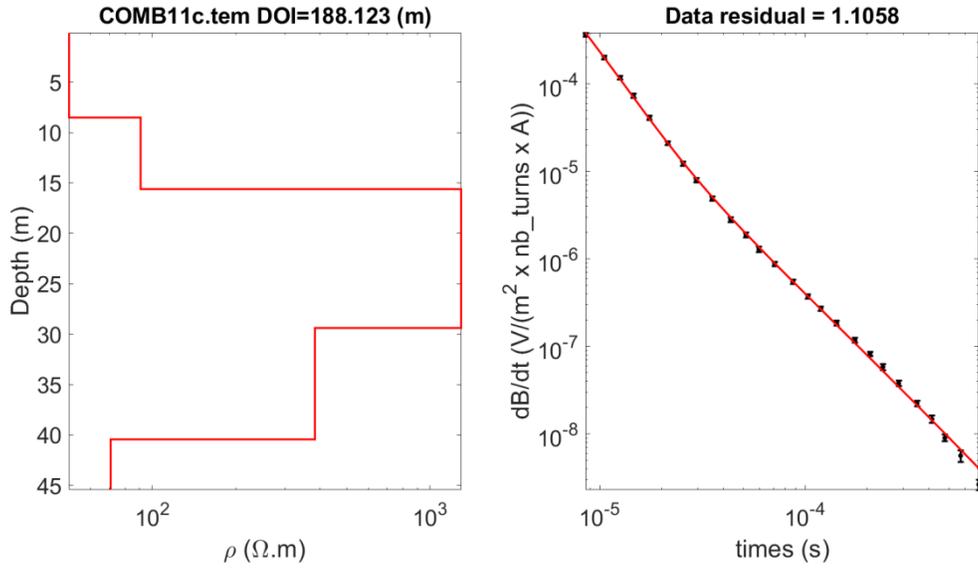
**Figura A3a1.23** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Combarbalá8 (punto 25 en Figura A3a1.1).



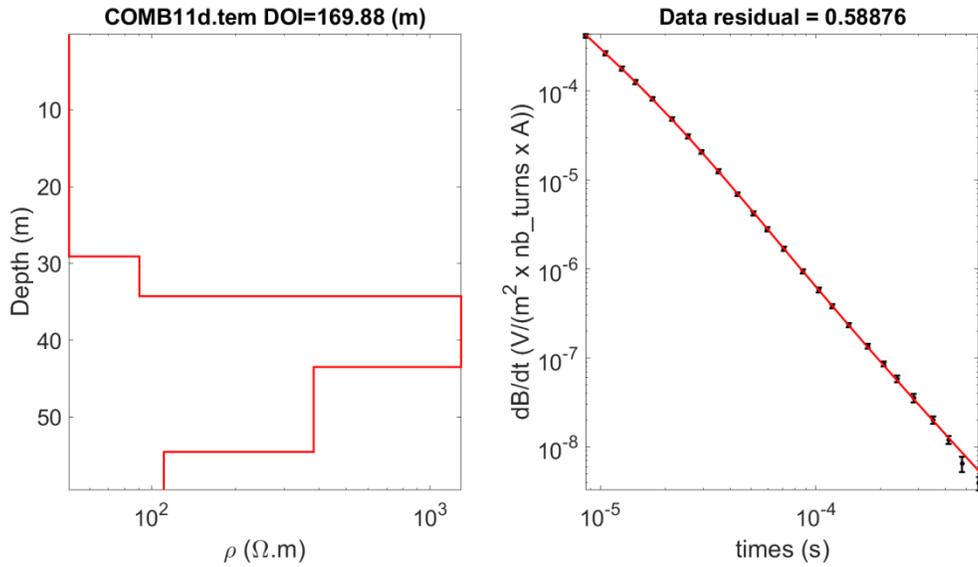
**Figura A3a1.24** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Combarbalá9 (punto 26 en Figura A3a1.1).



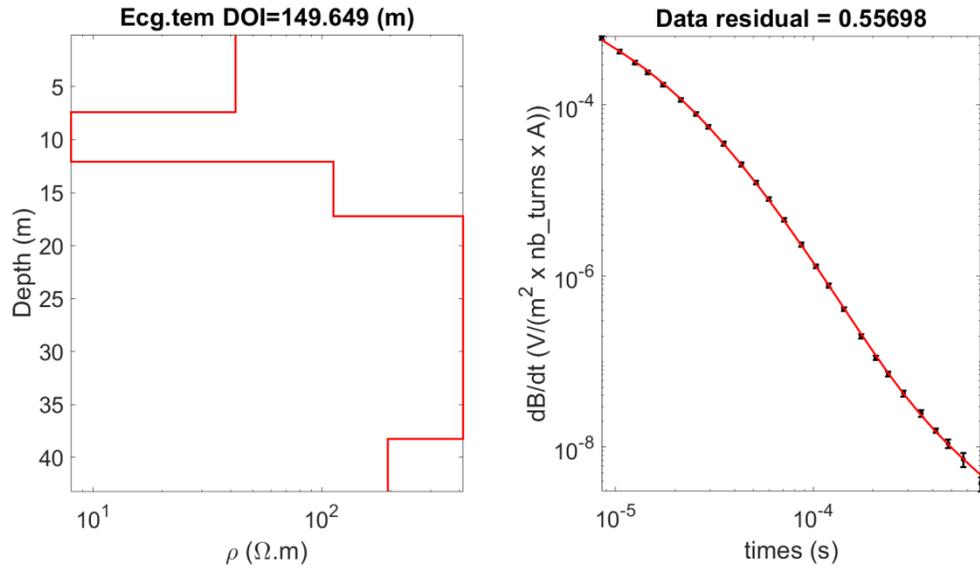
**Figura A3a1.25** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Combarbalá10 (punto 27 en Figura A3a1.1).



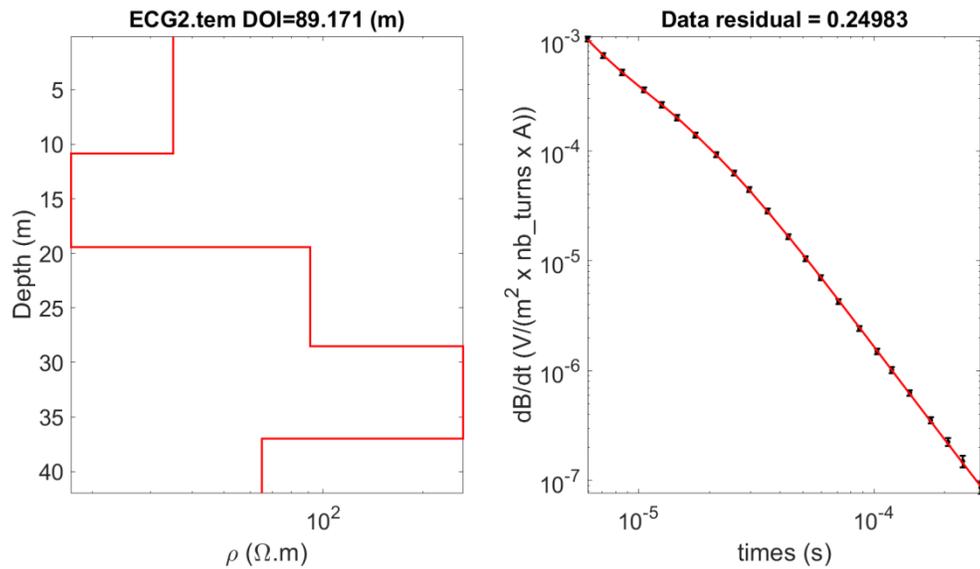
**Figura A3a1.26** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Combarbalá11c (punto 28 en Figura A3a1.1).



**Figura A3a1.27** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Combarbalá11d (punto 29 en Figura A3a1.1).



**Figura A3a1.28** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Embalse Cogotí1 (punto 36 en Figura A3a1.1).



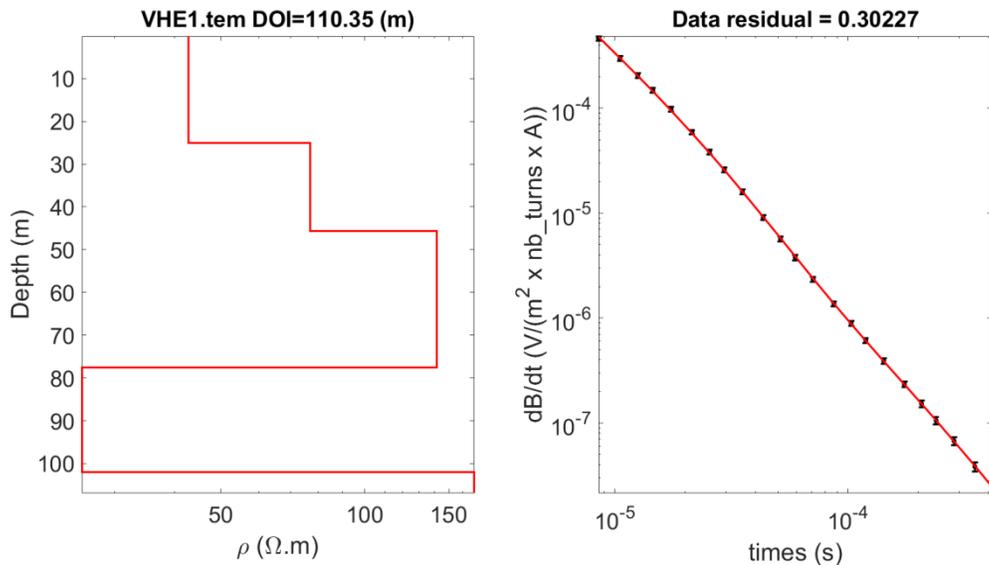
**Figura A3a1.29** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Embalse Cogotí2 (punto 37 en Figura A3a1.1).

## Río Pama

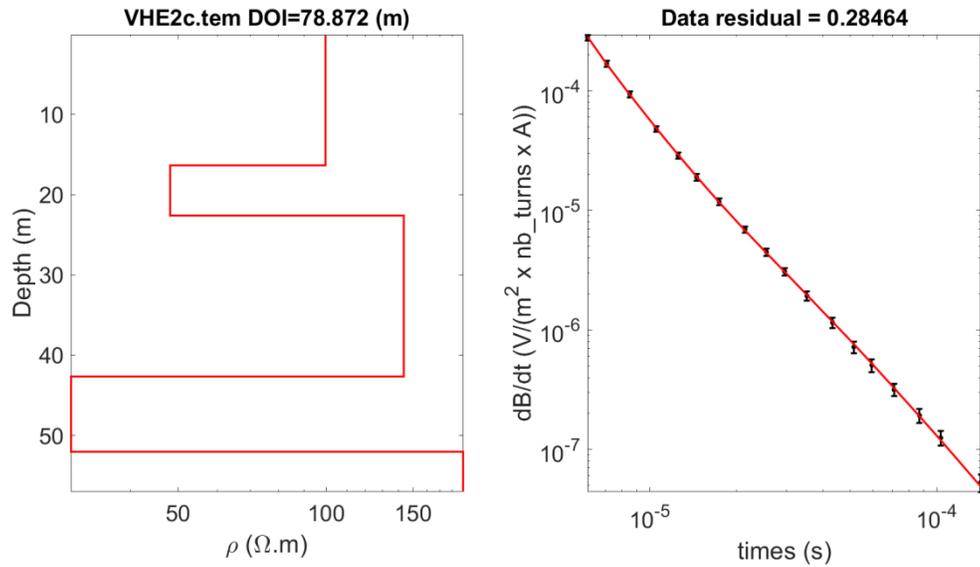
En el sector de continuidad hidrogeológica del río Pama se realizaron mediciones en 4 lugares con un perfil de transecto, por un total de 6 sondeos TEM (puntos 30-35 en Figura A3a1.1). En la Tabla A3a1.3 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.30-A3a1.35 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
L5	VHE1	30	310802	6536712	1098	50
	VHE2c	31	306872	6541846	931	50
	VHE2d	32	306890	6541912	930	25
	VHE2i	33	306836	6541774	933	50
	VHE3	34	304368	6544457	876	50
	VHE4	35	303043	6551420	605	50

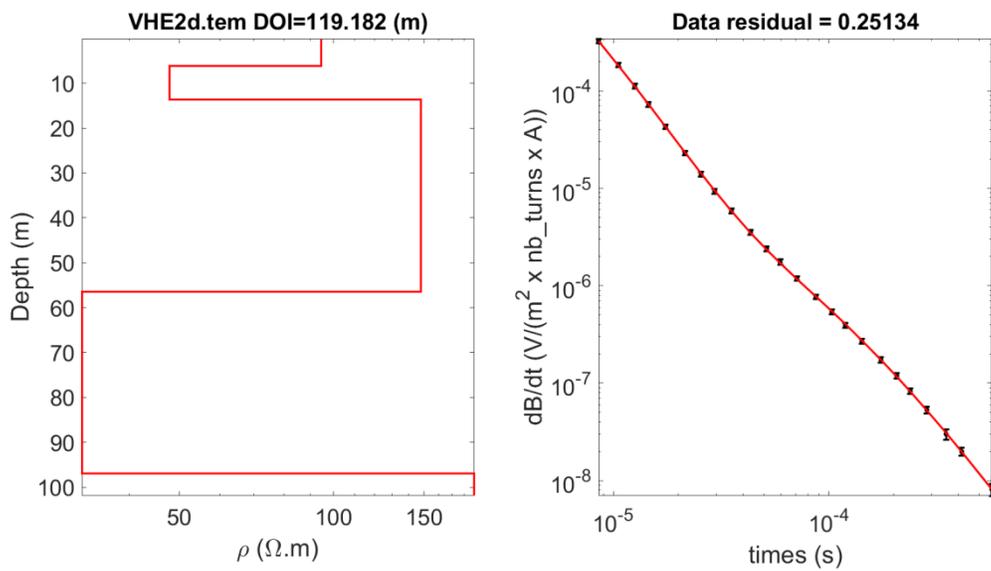
**Tabla A3a1.3** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Pama.



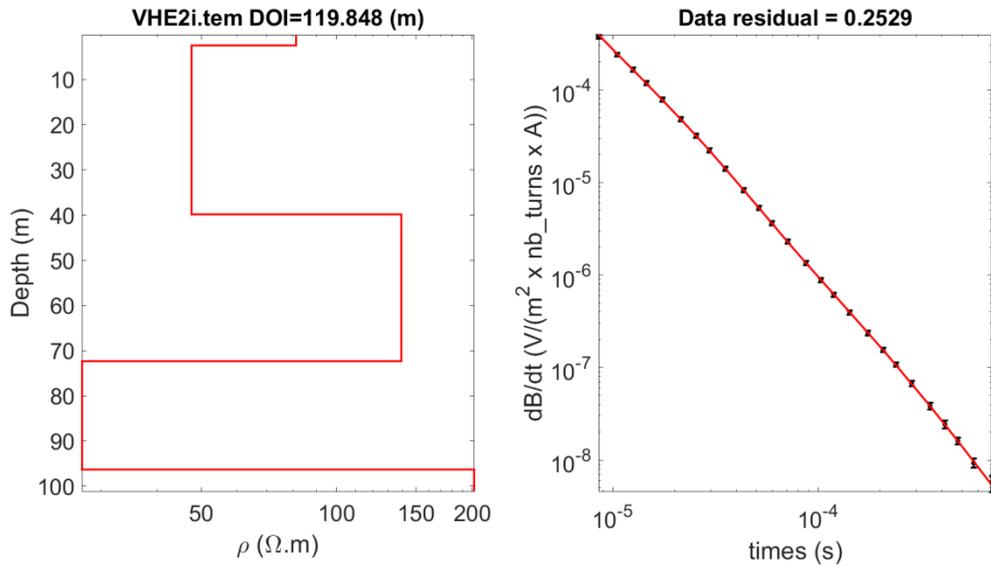
**Figura A3a1.30** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Valle Hermoso1 (punto 30 en Figura A3a1.1).



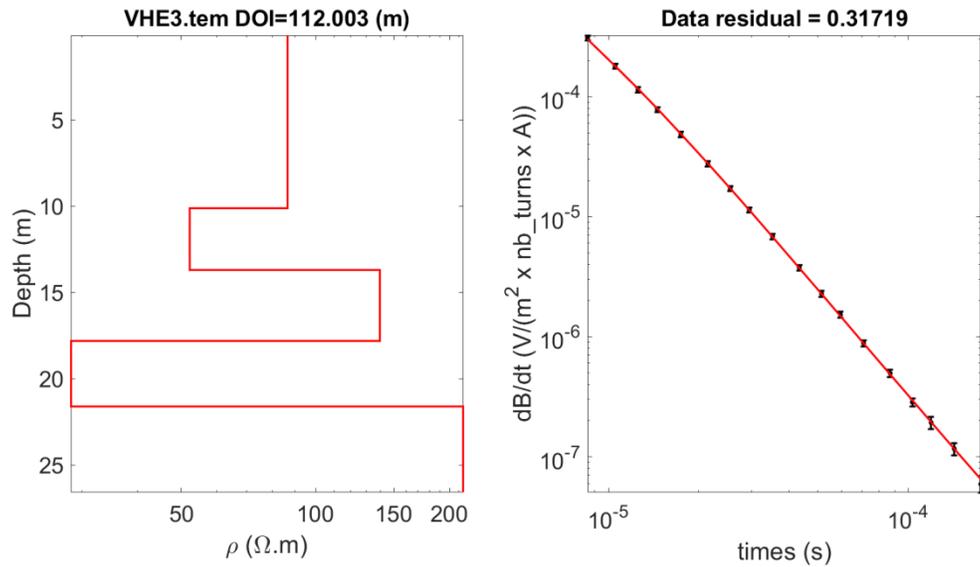
**Figura A3a1.31** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Valle Hermoso2c (punto 31 en Figura A3a1.1).



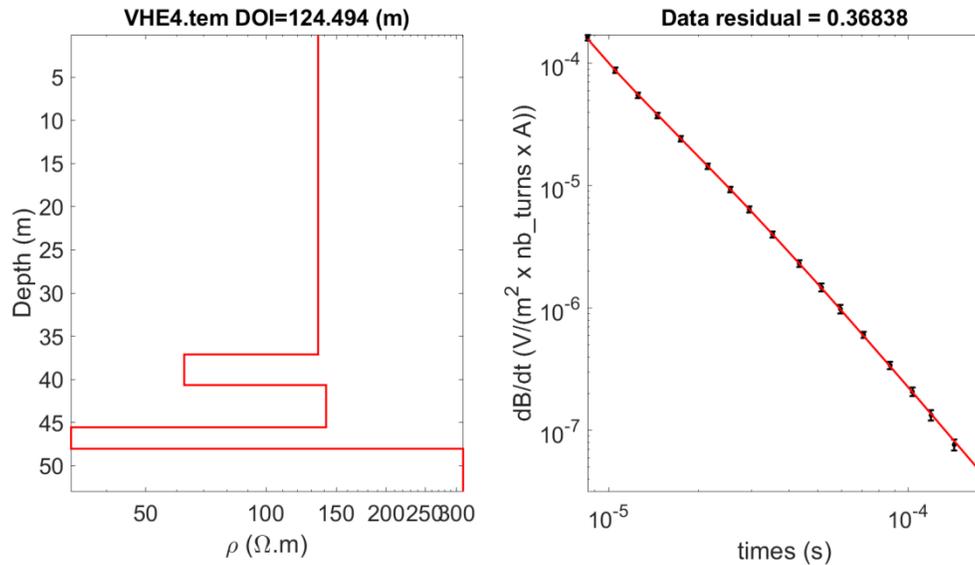
**Figura A3a1.32** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Valle Hermoso2d (punto 32 en Figura A3a1.1).



**Figura A3a1.33** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Valle Hermoso2i (punto 33 en Figura A3a1.1).



**Figura A3a1.34** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Valle Hermoso3 (punto 34 en Figura A3a1.1).



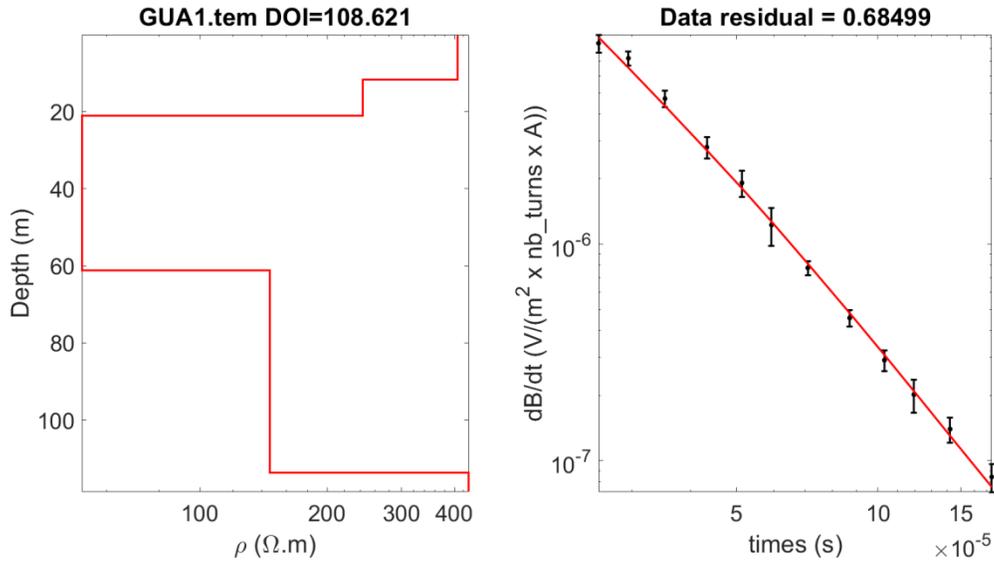
**Figura A3a1.35** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Valle Hermoso4 (punto 35 en Figura A3a1.1).

## Río Guatulame

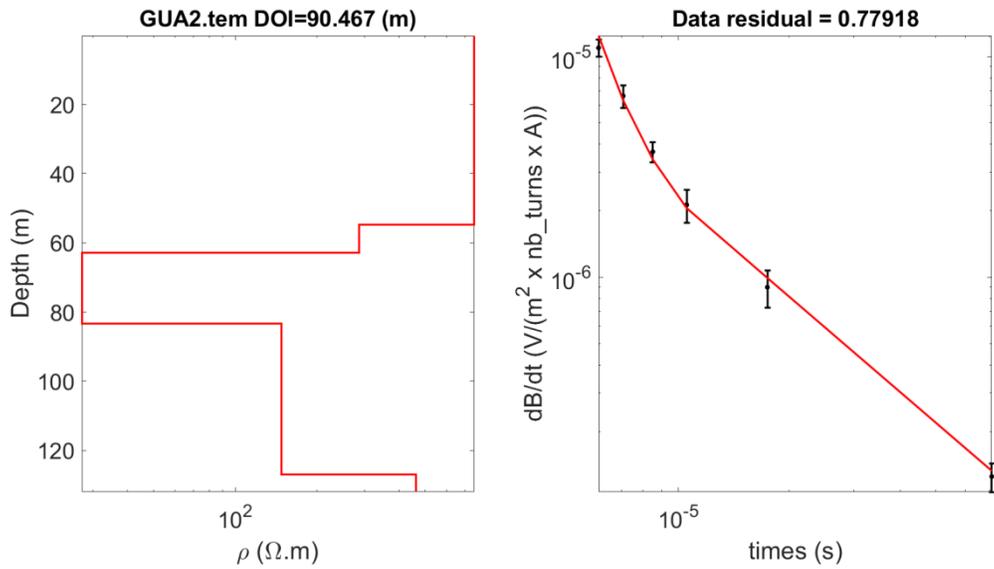
En el sector de continuidad hidrogeológica del río Guatulame se realizaron mediciones en 9 lugares con dos perfiles de transectos, por un total de 11 sondeos TEM (puntos 38-48 en Figura A3a1.2). De estos se descartó 1 sondeo (punto 40 en Figura A3a1.2) debido a la presencia de un cable eléctrico cercano que indujo demasiado ruido en la señal. En este sector se incluyen también los resultados obtenidos de la interpretación de los dos sondeos efectuados en el embalse La Paloma en su rama sur (cerca del pueblo El Palqui; puntos 49 y 50 en Figura A3a1.2). En la Tabla A3a1.4 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.36-A3a1.47 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
	GUA1	38	301372	6569892	564	25
	GUA2	39	301904	6573344	539	25
	GUA3	40	305286	6577219	495	Cable eléctrico cercano
	GUA3a	41	305957	6578064	508	25
	GUA4	42	306921	6581675	478	50
L6	GUA5c	43	308096	6582824	467	50
	GUA5d	44	308110	6582786	467	50
L7	GUA6d	45	310586	6587086	432	25
	GUA6i	46	310454	6587210	432	50
	GUA7	47	311402	6589744	416	50
	GUA8	48	312014	6592235	398	25
L8	PALOMA_PALQUId	49	312122	6594880	383	50
	PALOMA_PALQUIi	50	312197	6594837	383	50

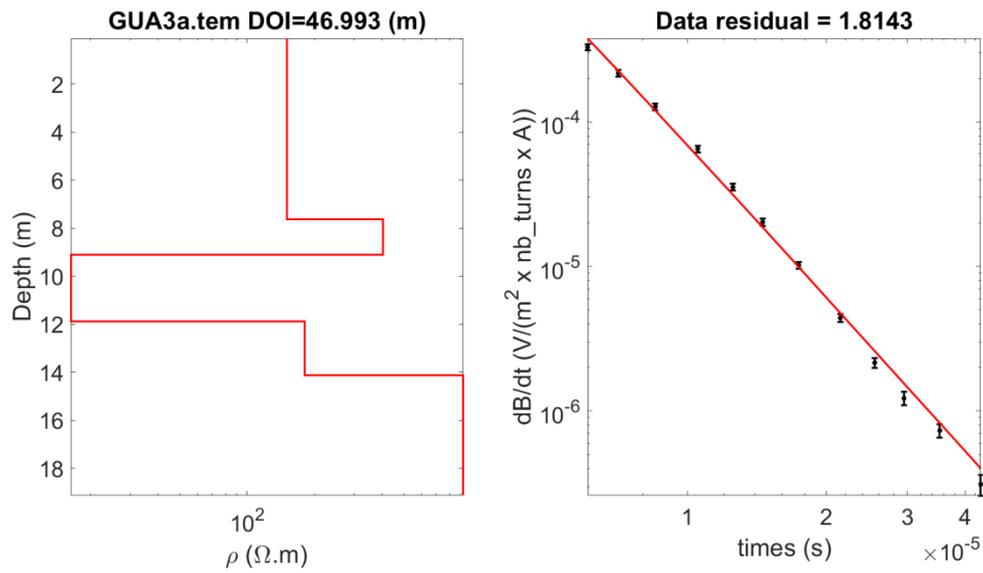
**Tabla A3a1.4** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Guatulame.



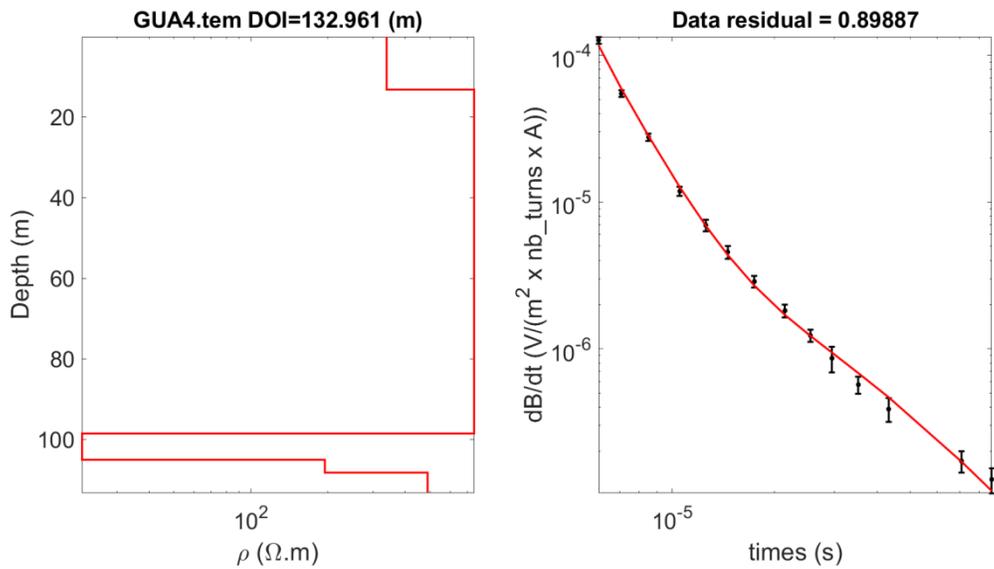
**Figura A3a1.36** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame1 (punto 38 en Figura A3a1.2).



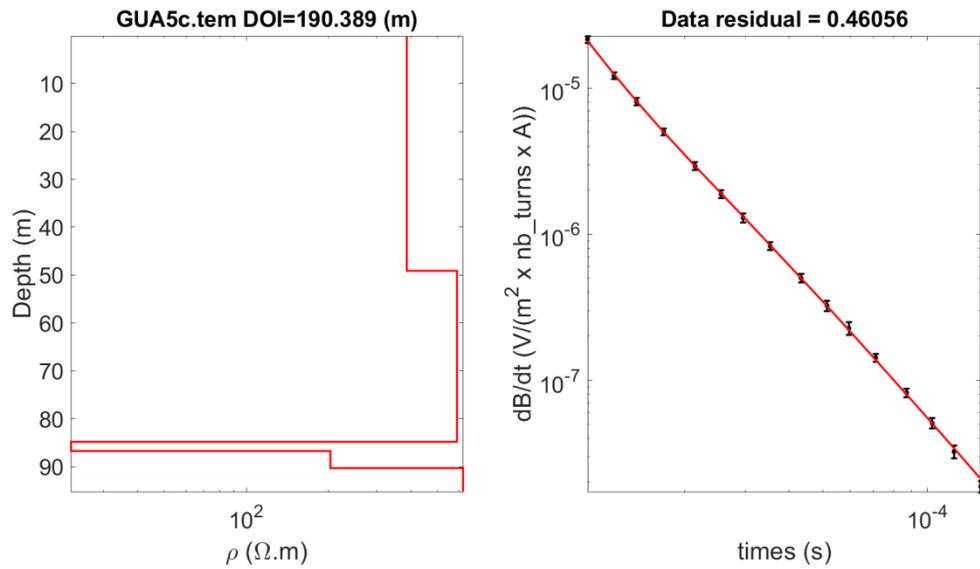
**Figura A3a1.37** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame2 (punto 39 en Figura A3a1.2).



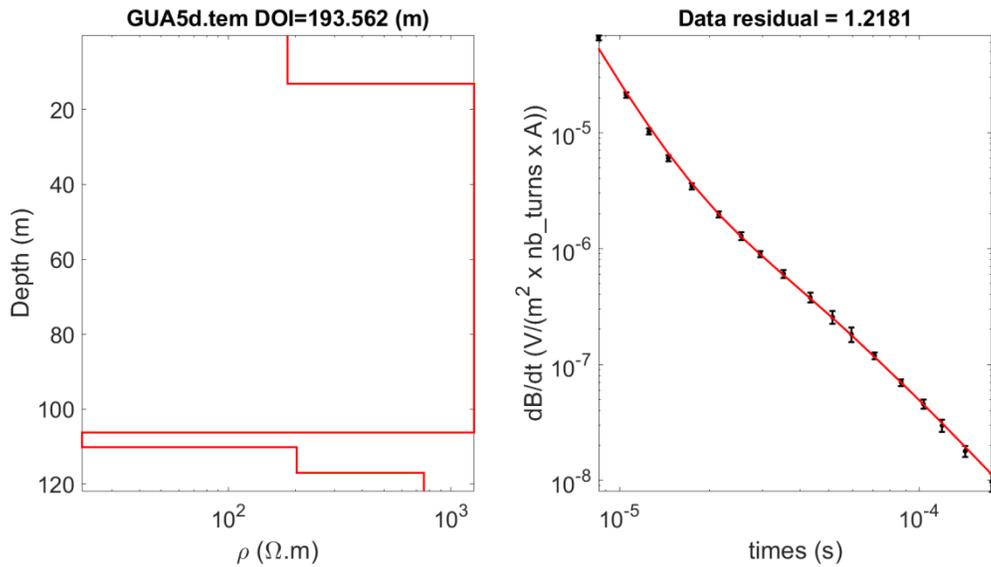
**Figura A3a1.38** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame3a (punto 41 en Figura A3a1.2).



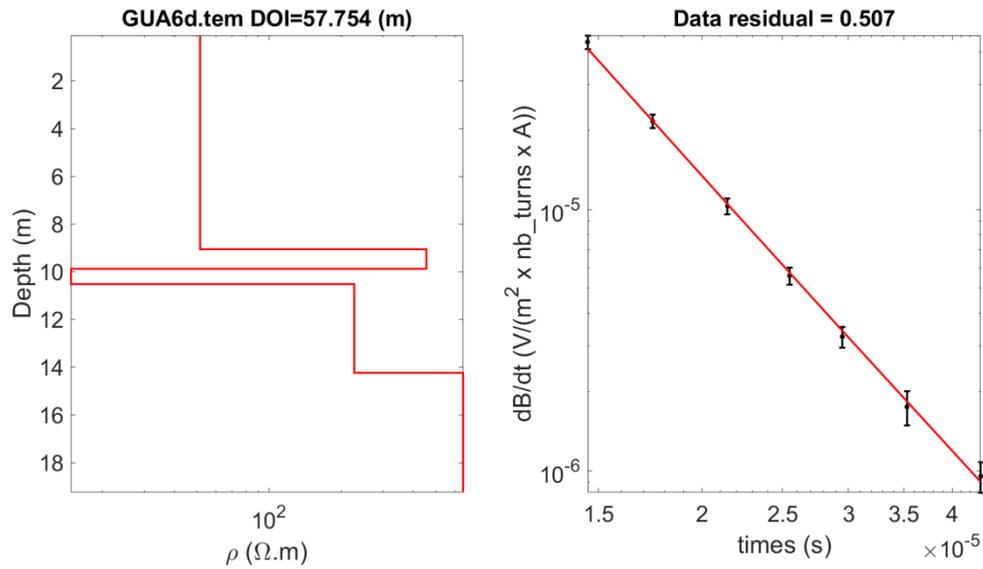
**Figura A3a1.39** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame4 (punto 42 en Figura A3a1.2).



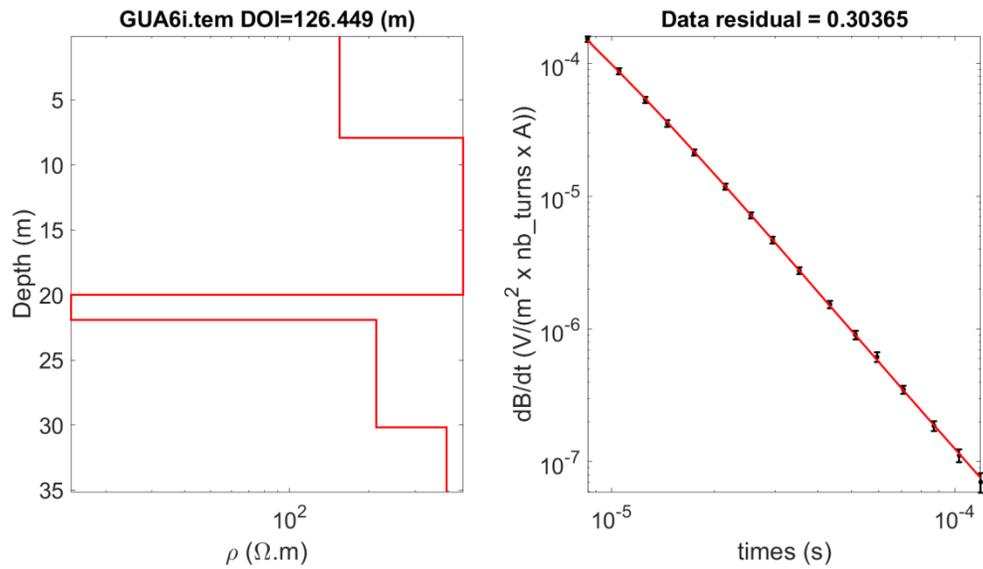
**Figura A3a1.40** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame5c (punto 43 en Figura A3a1.2).



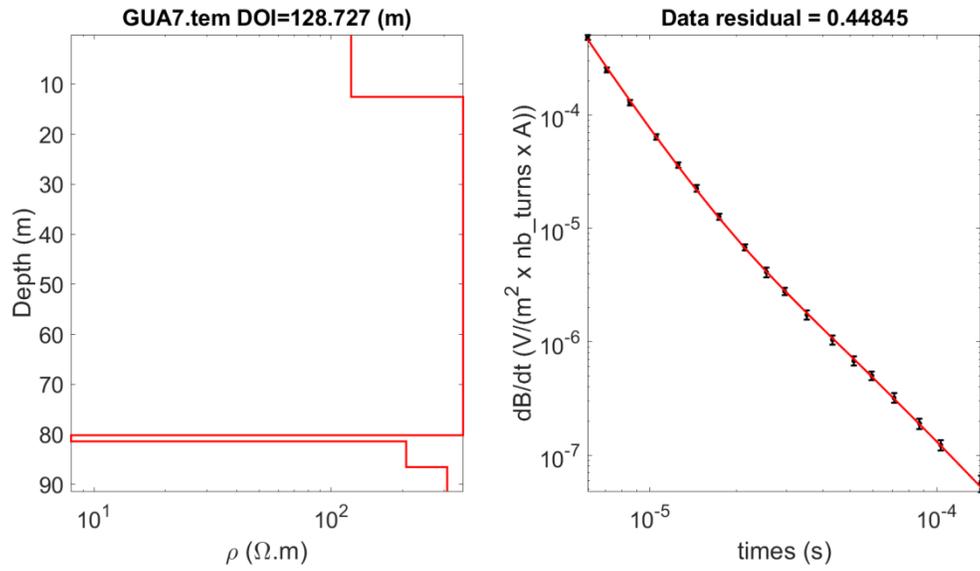
**Figura A3a1.41** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame5d (punto 44 en Figura A3a1.2).



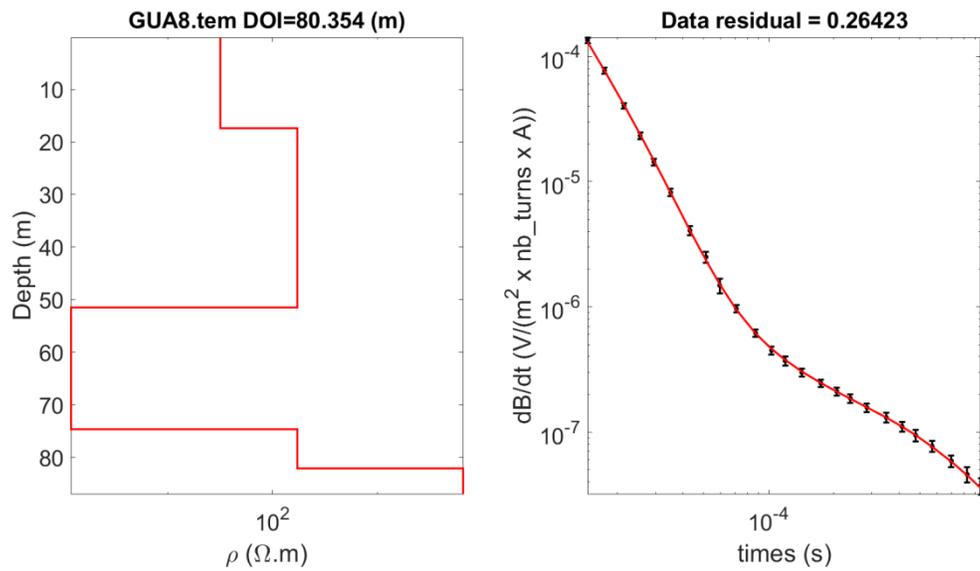
**Figura A3a1.42** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame6d (punto 45 en Figura A3a1.2).



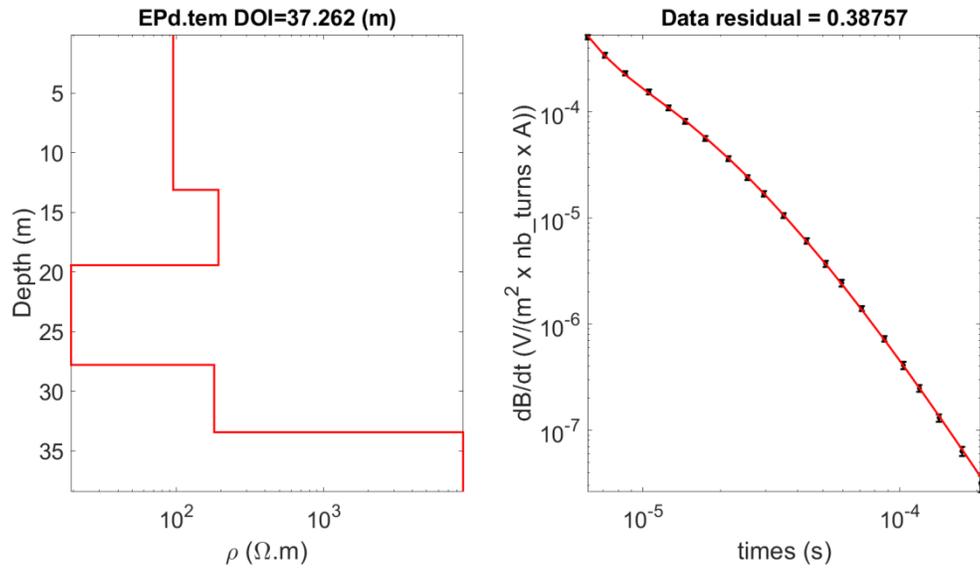
**Figura A3a1.43** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame6i (punto 46 en Figura A3a1.2).



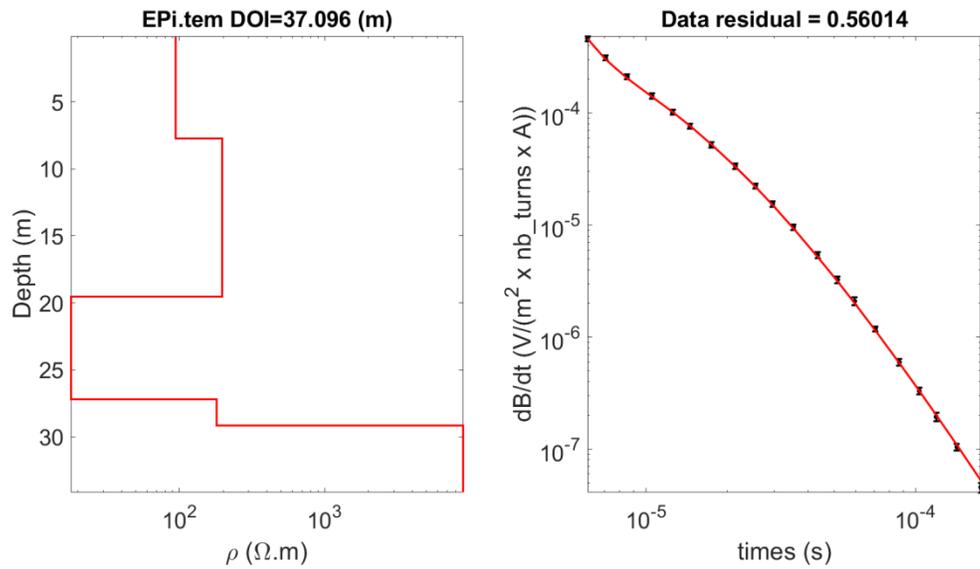
**Figura A3a1.44** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame7 (punto 47 en Figura A3a1.2).



**Figura A3a1.45** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Guatulame8 (punto 48 en Figura A3a1.2).



**Figura A3a1.46** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Paloma lado El Palqui\_d (punto 49 en Figura A3a1.2).



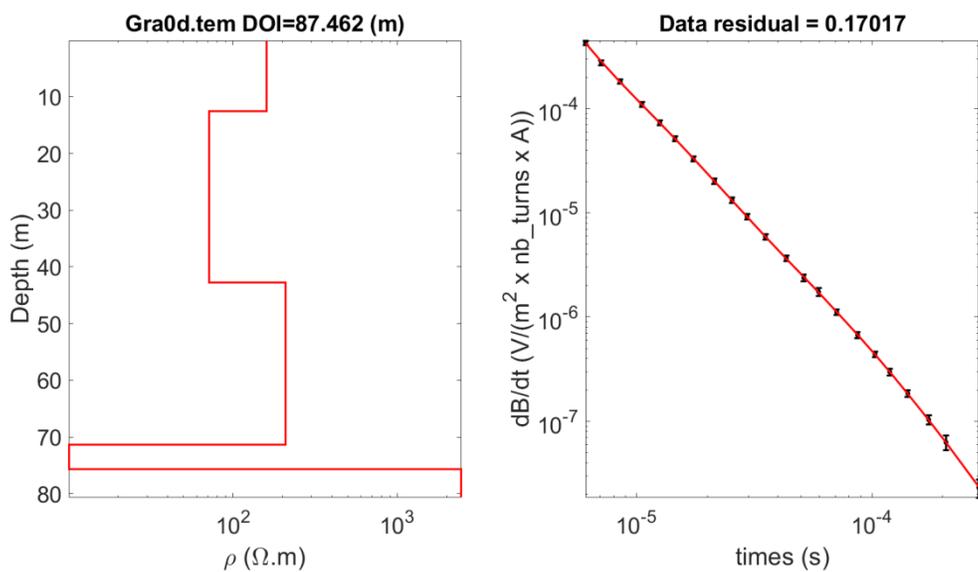
**Figura A3a1.47** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Paloma lado El Palqui\_i (punto 50 en Figura A3a1.2).

## Río Grande arriba del embalse La Paloma

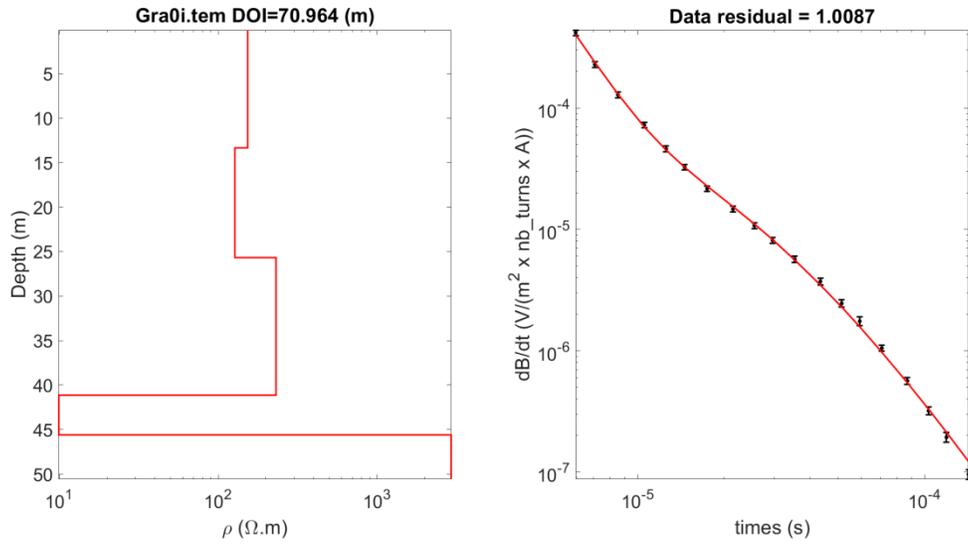
En el sector de continuidad hidrogeológica del río Grande, arriba del embalse La Paloma, se realizó un perfil transecto en la junta entre el río Rapel y el río Grande, por un total de 2 sondeos TEM (puntos 51 y 52 en Figura A3a1.2). En este sector se incluyen también los resultados obtenidos de la interpretación de los dos sondeos efectuados en el embalse La Paloma en su rama norte (cerca del pueblo Monte Patria; puntos 53-57 en Figura A3a1.2). En la Tabla A3a1.5 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.48-A3a1.54 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
L9	GRA00d	51	319454	6600562	474	50
	GRA00i	52	319394	6600413	476	50
L10	PALOMA_MONTEPATRIA1	53	310678	6601027	383	50
	PALOMA_MONTEPATRIA2	54	310670	6601136	383	50
	PALOMA_MONTEPATRIA3	55	310645	6601286	383	25
	PALOMA_MONTEPATRIA4	56	311063	6601414	389	50
	PALOMA_MONTEPATRIA5	57	310656	6601274	383	25

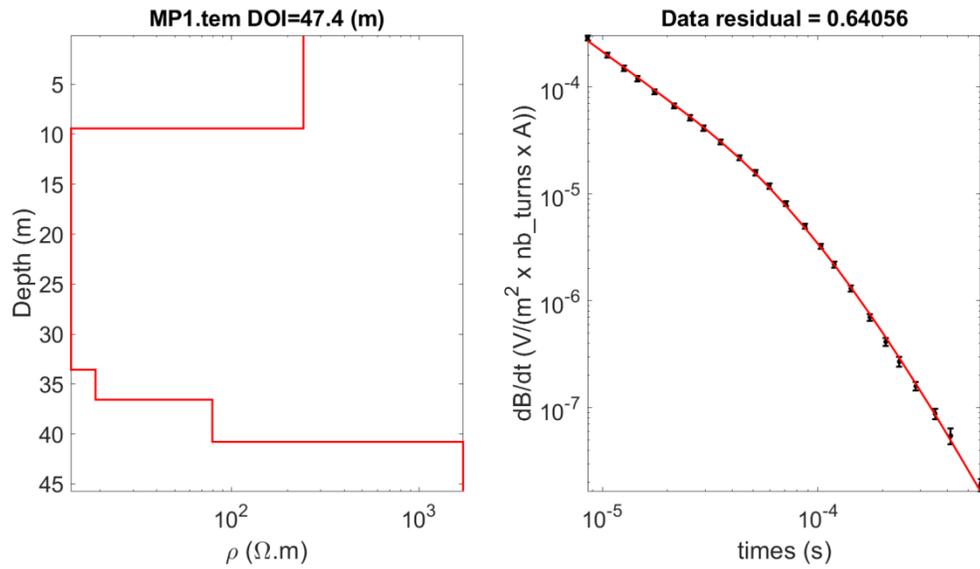
**Tabla A3a1.5** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Grande, arriba del embalse La Paloma.



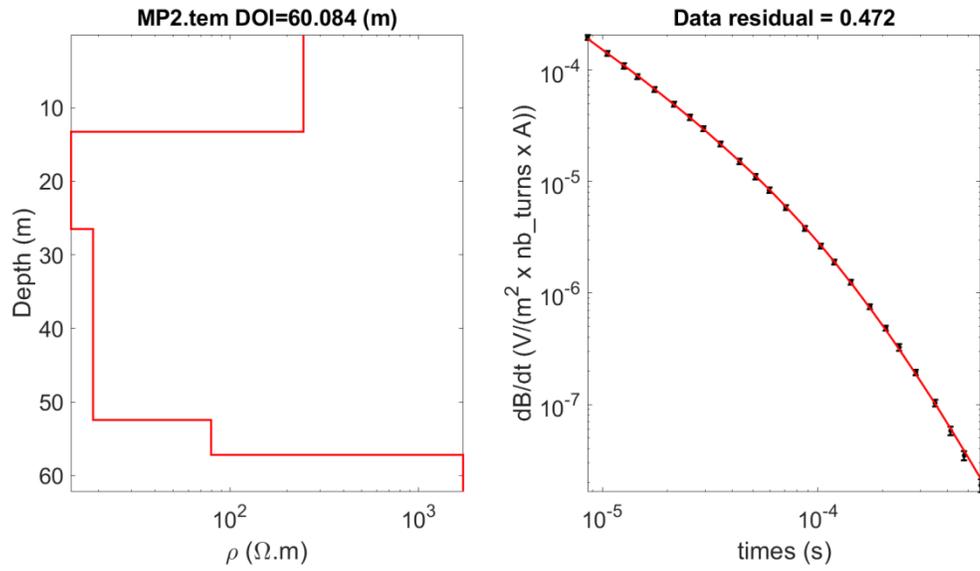
**Figura A3a1.48** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Grande0d (punto 51 en Figura A3a1.2).



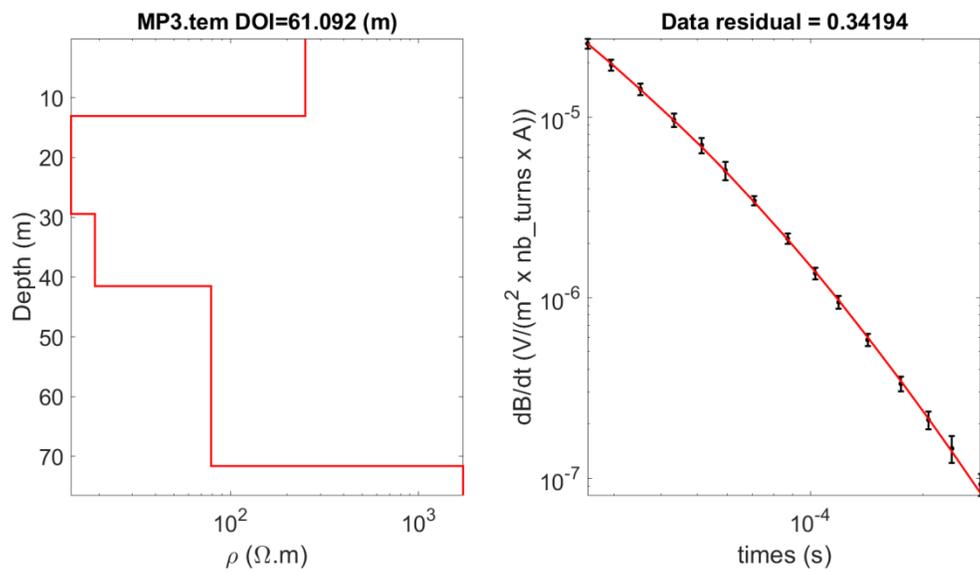
**Figura A3a1.49** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Grande0i (punto 52 en Figura A3a1.2).



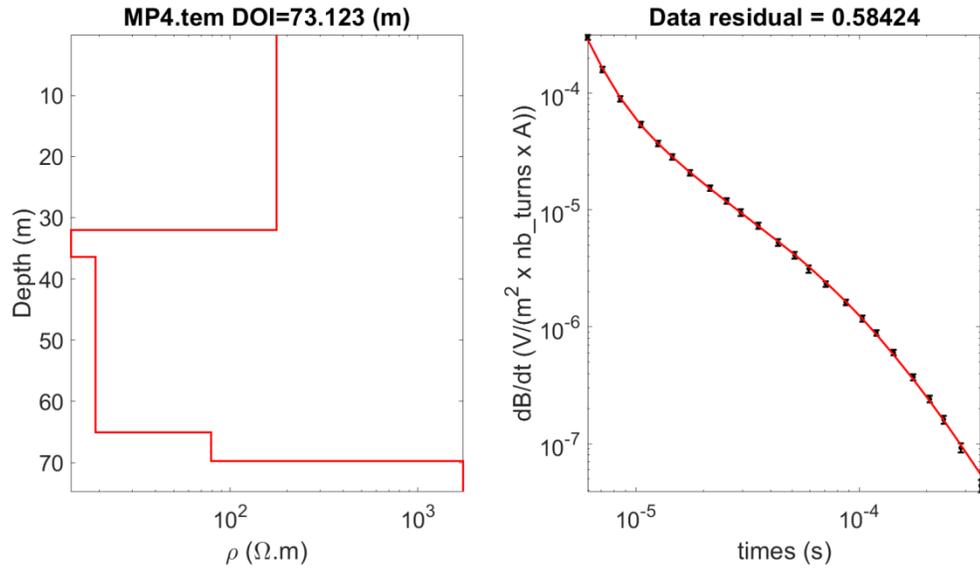
**Figura A3a1.50** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Paloma lado Monte Patria1 (punto 53 en Figura A3a1.2).



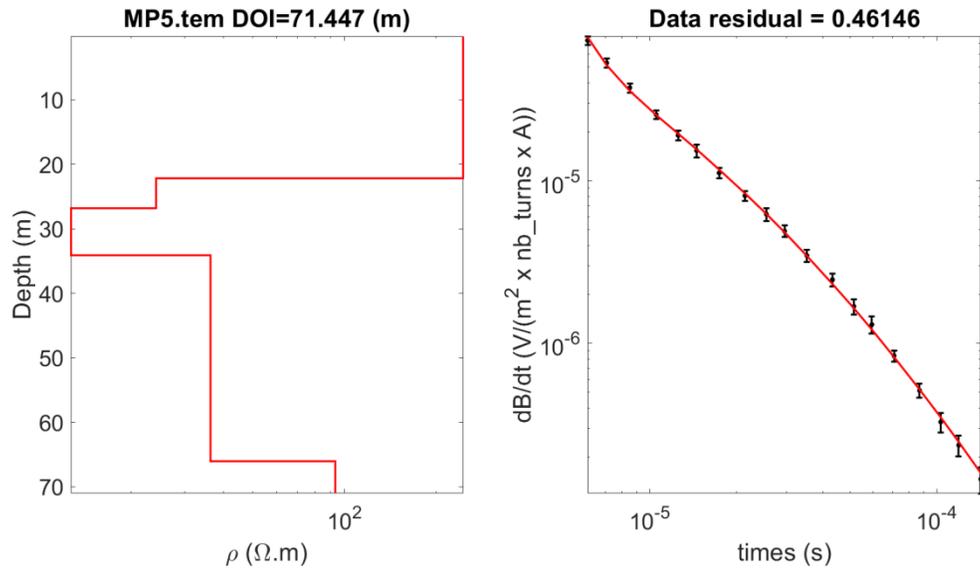
**Figura A3a1.51** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Paloma lado Monte Patria2 (punto 54 en Figura A3a1.2).



**Figura A3a1.52** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Paloma lado Monte Patria3 (punto 55 en Figura A3a1.2).



**Figura A3a1.53** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Paloma lado Monte Patria4 (punto 56 en Figura A3a1.2).



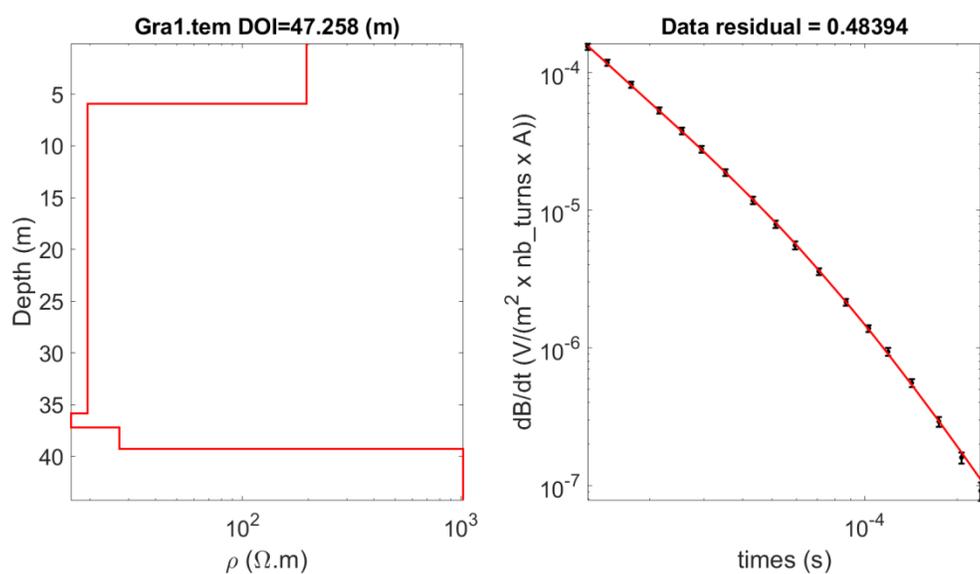
**Figura A3a1.54** Resultados de la interpretación del sondeo TEM Paloma lado Monte Patria5 (punto 57 en Figura A3a1.2).

## Río Grande abajo del embalse La Paloma

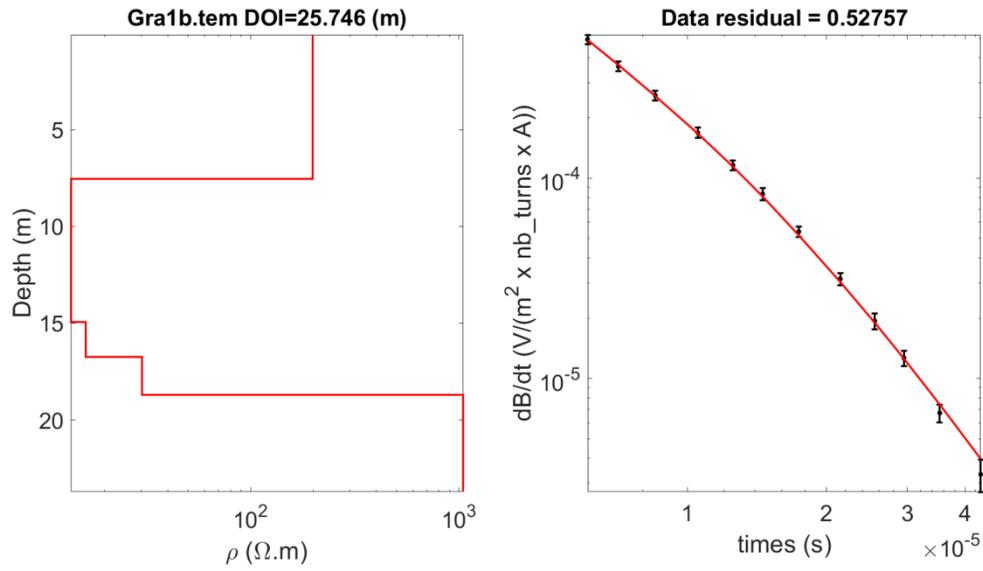
En el sector de continuidad hidrogeológica del río Grande, abajo del embalse La Paloma, se realizaron mediciones en 5 lugares con un perfil transecto, por un total de 6 sondeos TEM (puntos 58-63 en Figura A3a1.3). En la Tabla A3a1.6 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.55-A3a1.60 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
L11	GRA1	58	304685	6602324	317	25
	GRA1b	59	304657	6602454	317	25
	GRA2	60	301950	6603590	306	50
	GRA3	61	299698	6606213	286	50
	GRA4	62	296381	6608473	262	25
	GRA5	63	293934	6612823	236	50

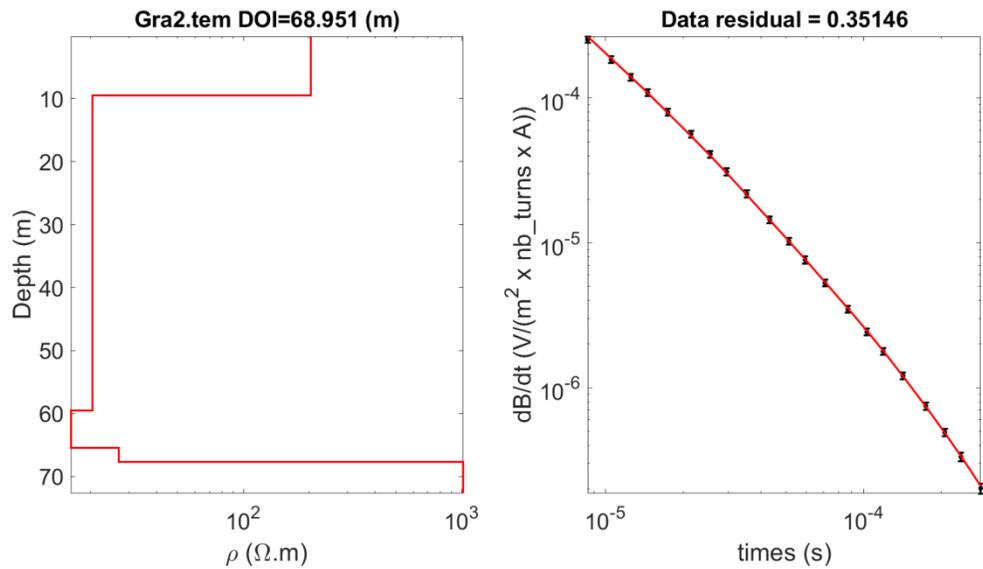
**Tabla A3a1.6** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Grande, abajo del embalse La Paloma.



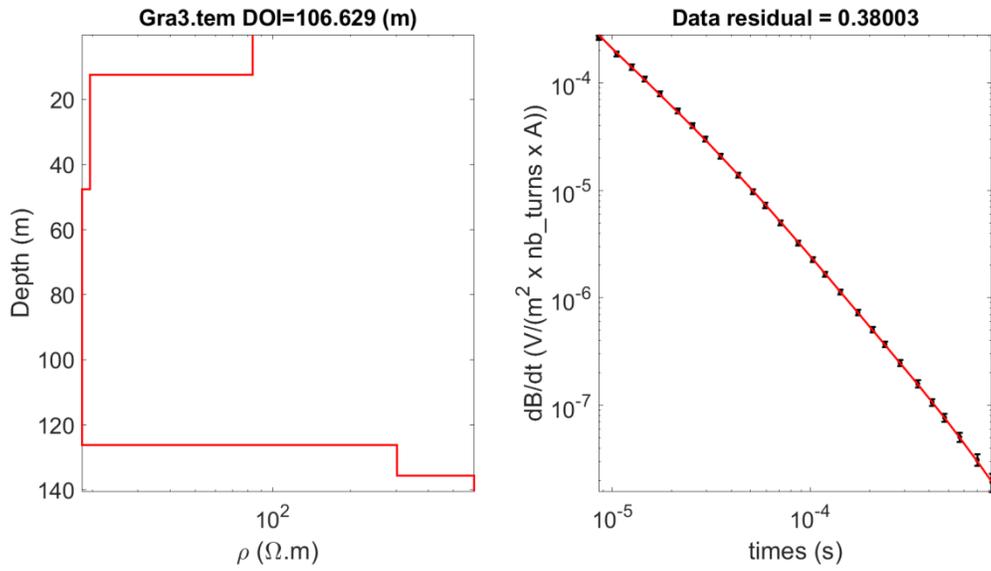
**Figura A3a1.55** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Grande1 (punto 58 en Figura A3a1.3).



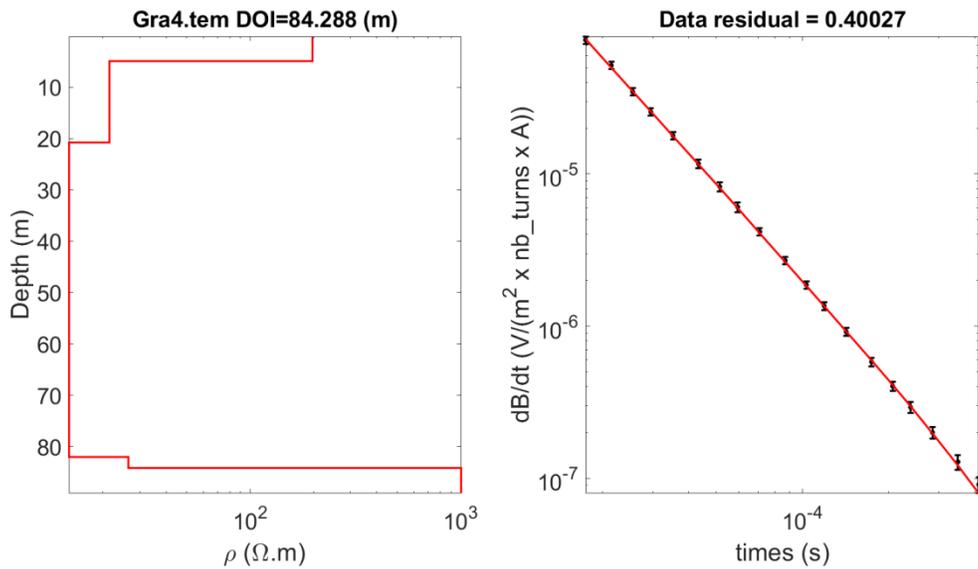
**Figura A3a1.56** Resultados de la interpretación del sondeo TEM rio Grande1b (punto 59 en Figura A3a1.3).



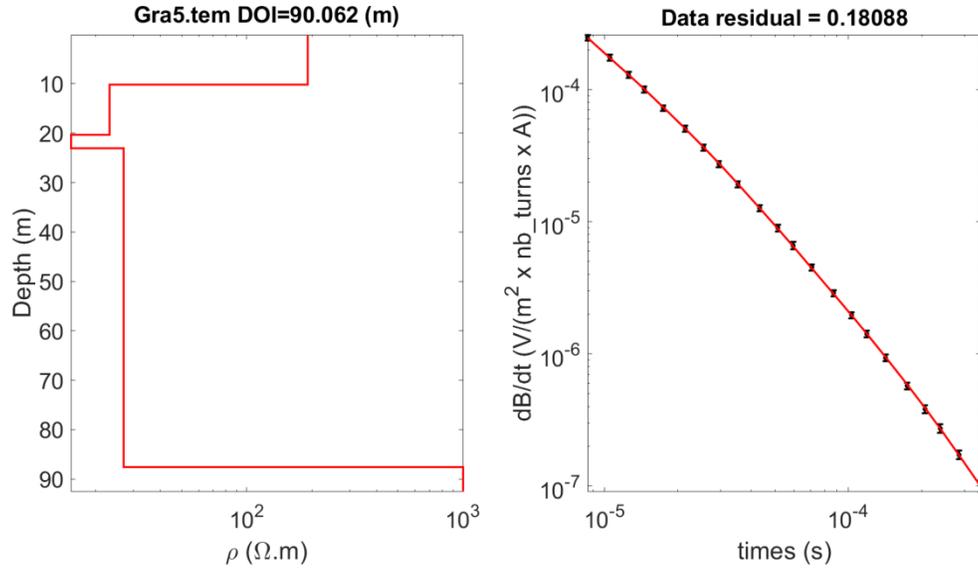
**Figura A3a1.57** Resultados de la interpretación del sondeo TEM rio Grande2 (punto 60 en Figura A3a1.3).



**Figura A3a1.58** Resultados de la interpretación del sondeo TEM rio Grande3 (punto 61 en Figura A3a1.3).



**Figura A3a1.59** Resultados de la interpretación del sondeo TEM rio Grande4 (punto 62 en Figura A3a1.3).



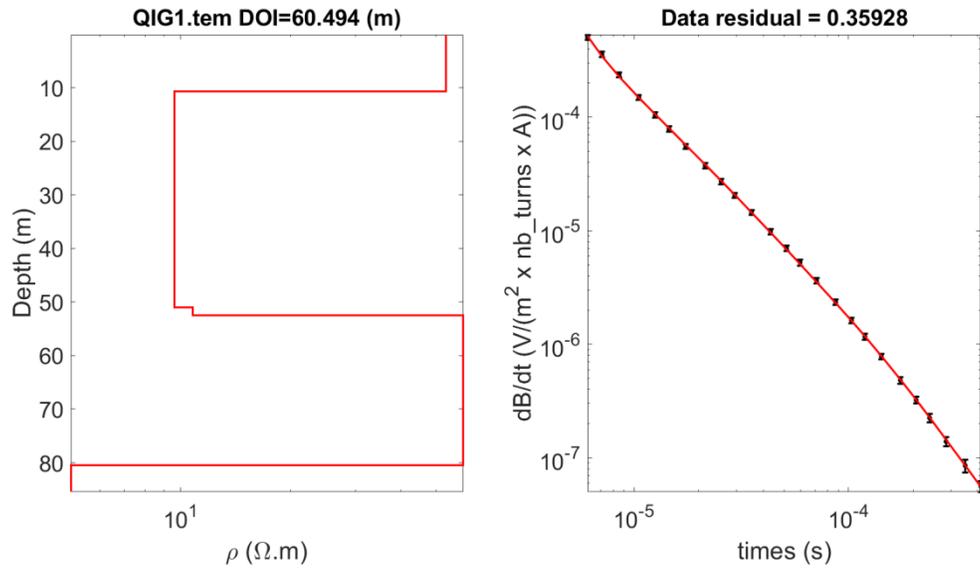
**Figura A3a1.60** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Grande5 (punto 63 en Figura A3a1.3).

### Quebrada Ingenio

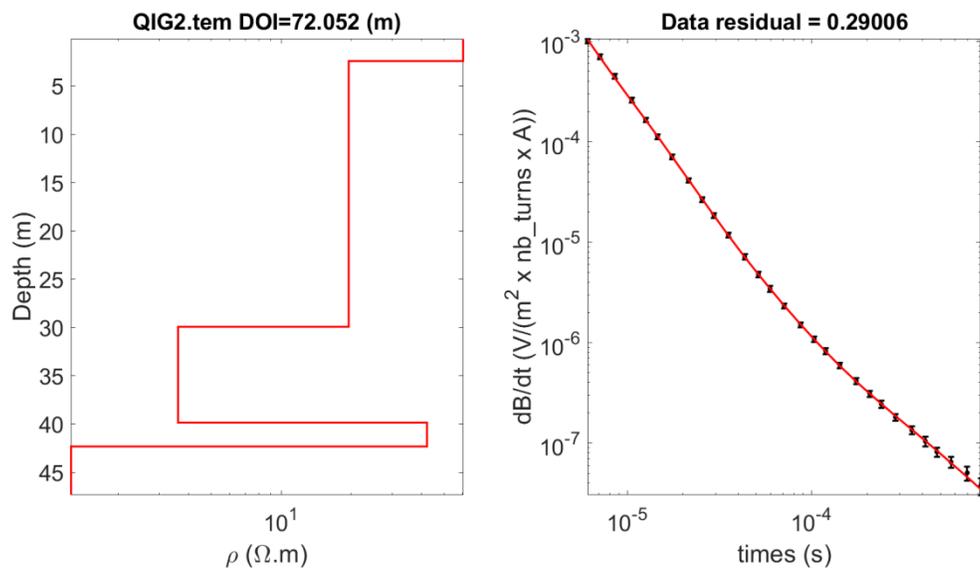
En el sector de continuidad hidrogeológica de la quebrada Ingenio se realizaron mediciones en 4 lugares (puntos 64-67 en Figura A3a1.3). El punto 67 fue después interpretado como parte de un transecto junto a una medición hecha en el sector del río Limarí arriba de la montura geológica situada en el cruce con la ruta 5 (el punto de sondeo TEM río Limarí6, identificado con el numero 77 en Figura A3a1.3). En la Tabla A2.7 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.61-A3a1.64 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones (cabe señalar que la sonda Limarí6 se presenta en la Figura A3a1.73).

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
	QIG1	64	292045	6618890	274	25
	QIG2	65	288197	6613806	232	25
	QIG2b	66	285018	6610826	197	50
L17	QIG3	67	276385	6609064	130	25
	LIM6	77	276574	6608587	129	50

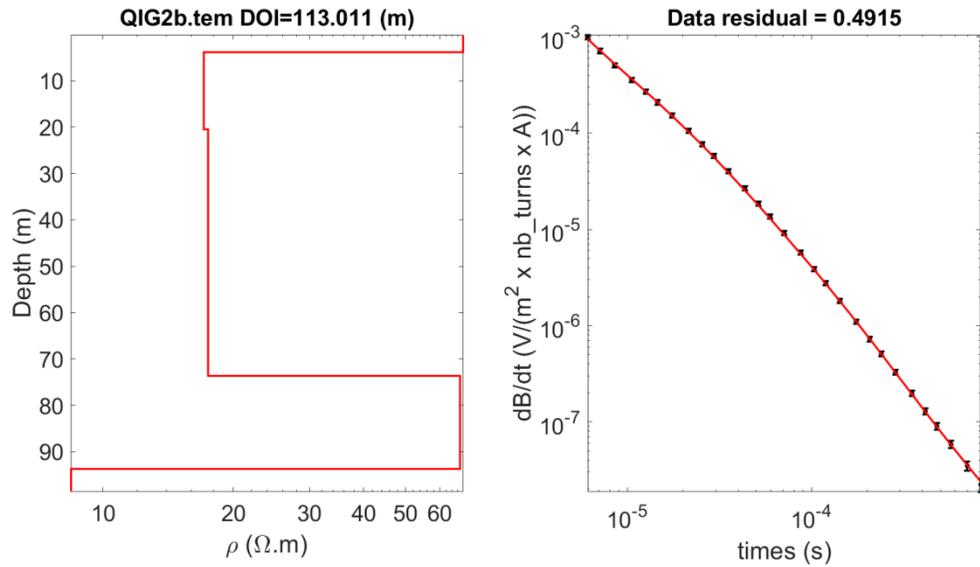
**Tabla A3a1.7** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector de la quebrada Ingenio.



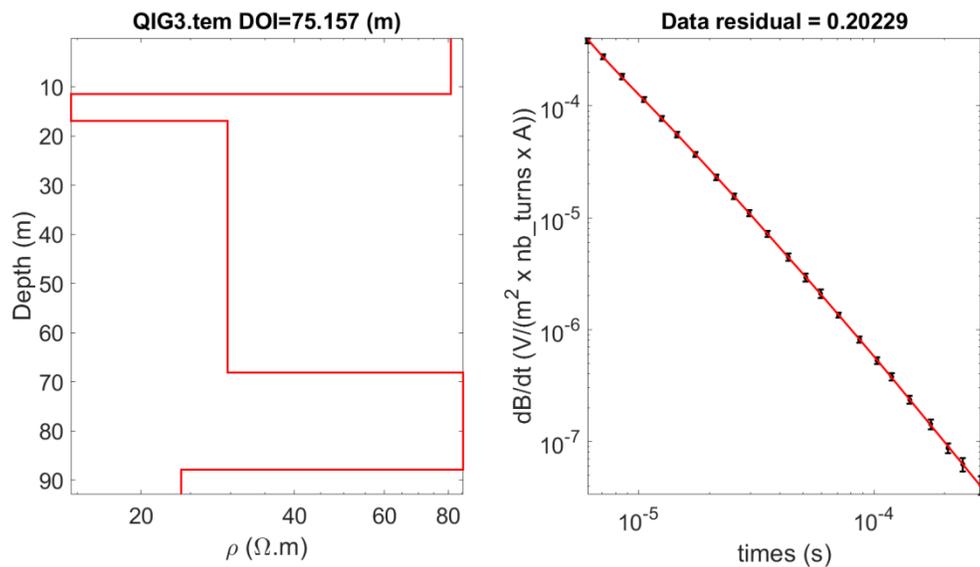
**Figura A3a1.61** Resultados de la interpretación del sondeo TEM quebrada Ingenio1 (punto 64 en Figura A3a1.3).



**Figura A3a1.62** Resultados de la interpretación del sondeo TEM quebrada Ingenio2 (punto 65 en Figura A3a1.3).



**Figura A3a1.63** Resultados de la interpretación del sondeo TEM quebrada Ingenio2b (punto 66 en Figura A3a1.3).



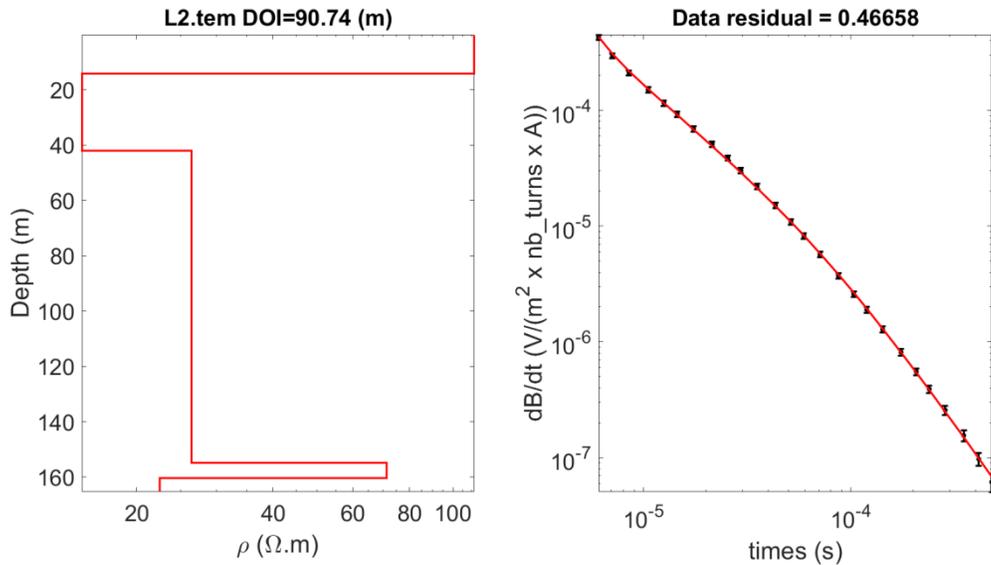
**Figura A3a1.64** Resultados de la interpretación del sondeo TEM quebrada Ingenio3 (punto 67 en Figura A3a1.3).

### Río Limarí arriba de los Altos de Talinay (cruce con la ruta 5)

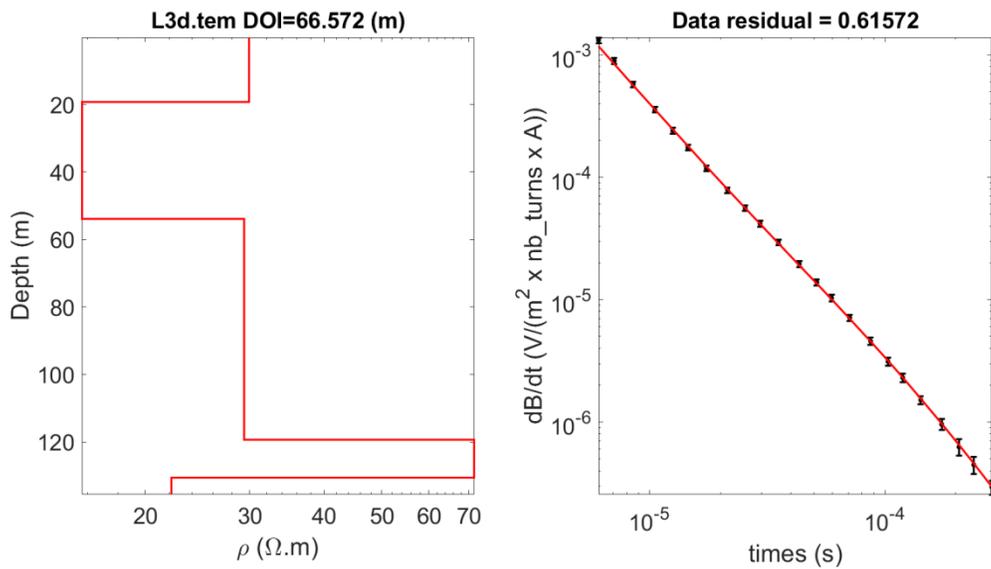
En el sector de continuidad hidrogeológica del río Limarí arriba de los Altos de Talinay se realizaron mediciones en 14 lugares con 5 transectos, por un total de 21 sondeos (puntos 68-88 en Figura A3a1.3). De estos se descartó 1 sondeo (punto 68 en Figura A3a1.3) debido a la presencia de bombas activas en pozos cercanos que indujeron demasiado ruido en la señal. En la Tabla A3a1.8 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.65-A3a1.84 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
	LIM1	68	292176	6613733	226	Bombas activas en pozos cercanos
	LIM2	69	291075	6611777	215	50
L12	LIM3d	70	286994	6611287	199	50
	LIM3i	71	286754	6609741	194	50
L13	LIM4d1	72	282070	6606846	158	25
	LIM4d2	73	281970	6607246	159	50
	LIM4d3	74	281531	6607939	162	50
	LIM4i	75	282025	6606496	159	50
	LIM5	76	278424	6608339	140	50
	LIM6	77	276574	6608587	129	50
	LIM7	78	273486	6608109	114	25
L14	LIM8d	79	270116	6609396	95	100
	LIM8i	80	269616	6608981	94	25
	LIM9	81	265765	6608875	73	25
	LIM10	82	265231	6607478	66	50
	LIM10b	83	264293	6607589	66	100
L15	LIM11d	84	263605	6607316	63	50
	LIM11i	85	263573	6606939	62	50
	LIM12	86	259734	6605655	43	50
L16	LIM13i	87	257672	6604114	37	50
	LIM13i2	88	257628	6604247	39	25

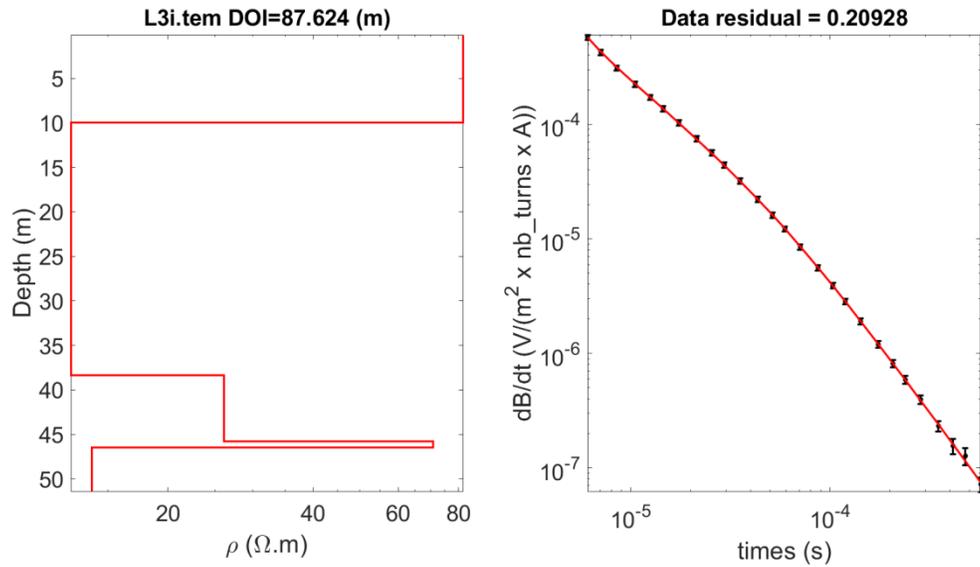
**Tabla A3a1.8** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Limarí arriba de la montura geológica situada en el cruce con la ruta 5.



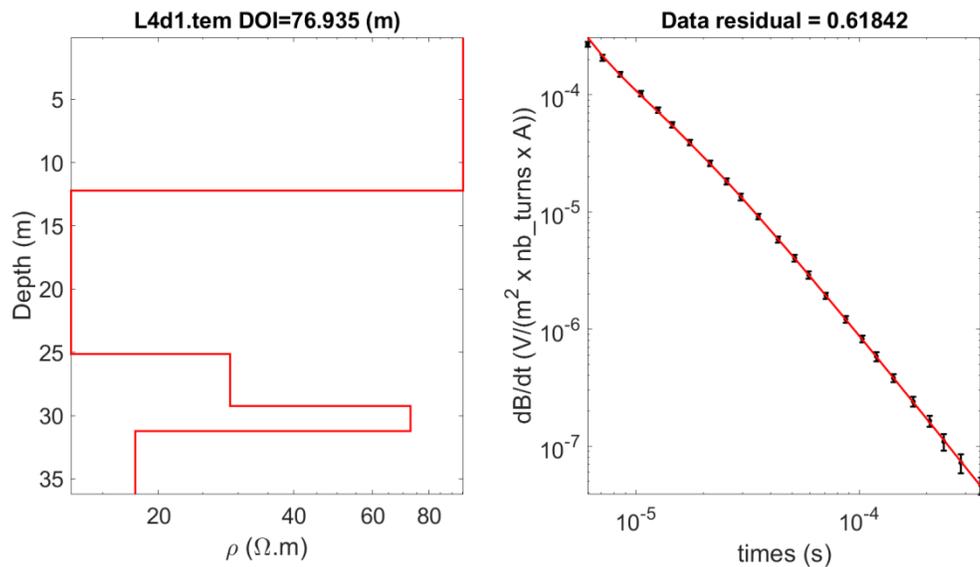
**Figura A3a1.65** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí2 (punto 69 en Figura A3a1.3).



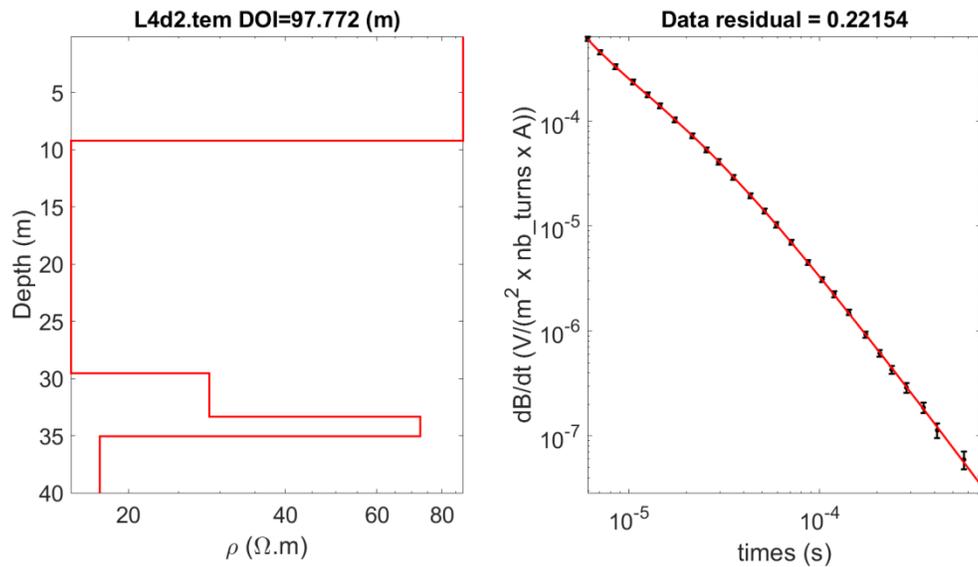
**Figura A3a1.66** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí3d (punto 70 en Figura A3a1.3).



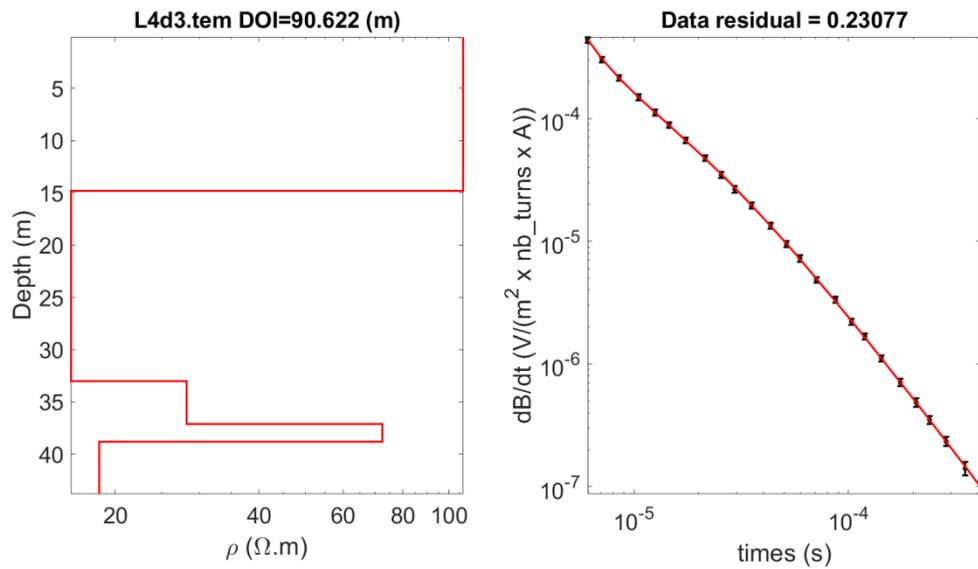
**Figura A3a1.67** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí3i (punto 71 en Figura A3a1.3).



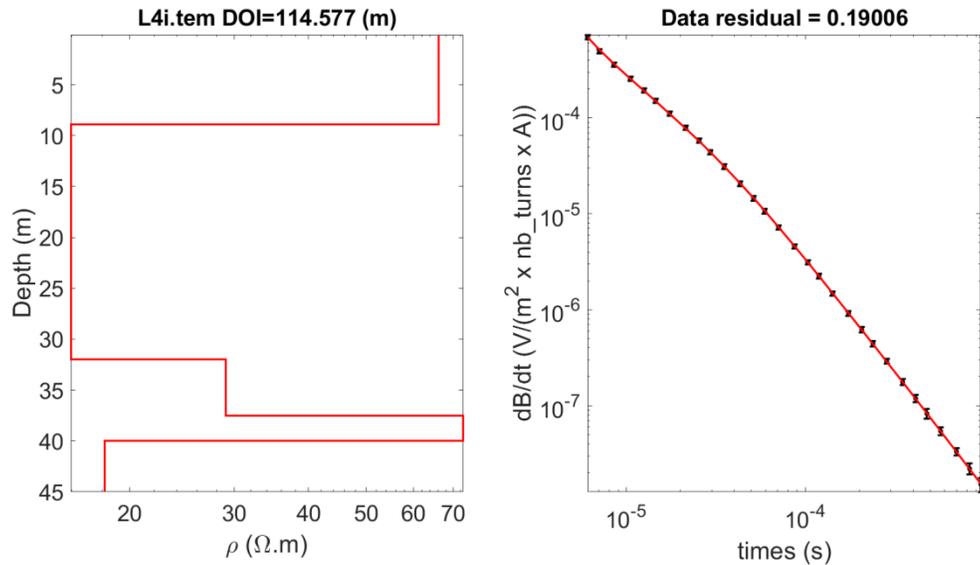
**Figura A3a1.68** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí4d1 (punto 72 en Figura A3a1.3).



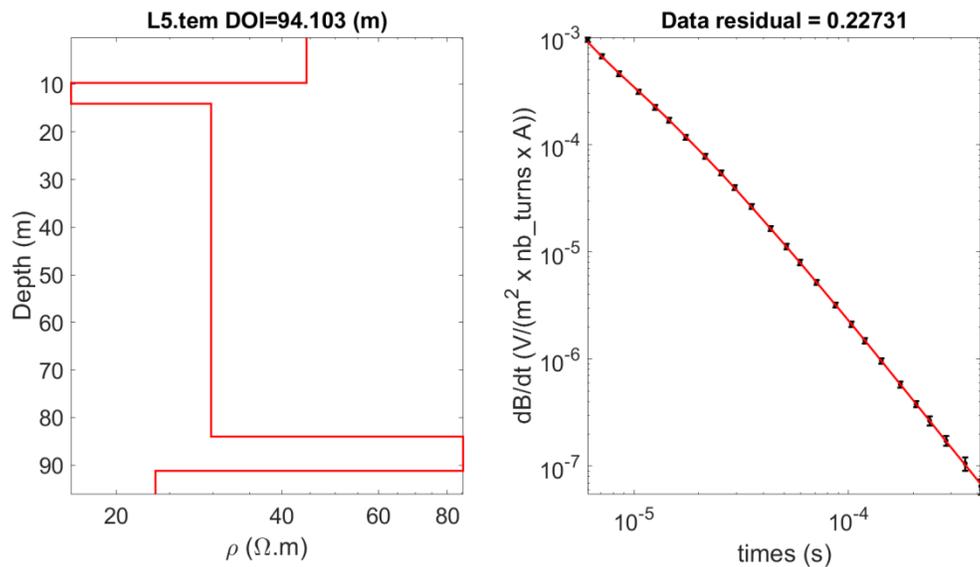
**Figura A3a1.69** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí4d2 (punto 73 en Figura A3a1.3).



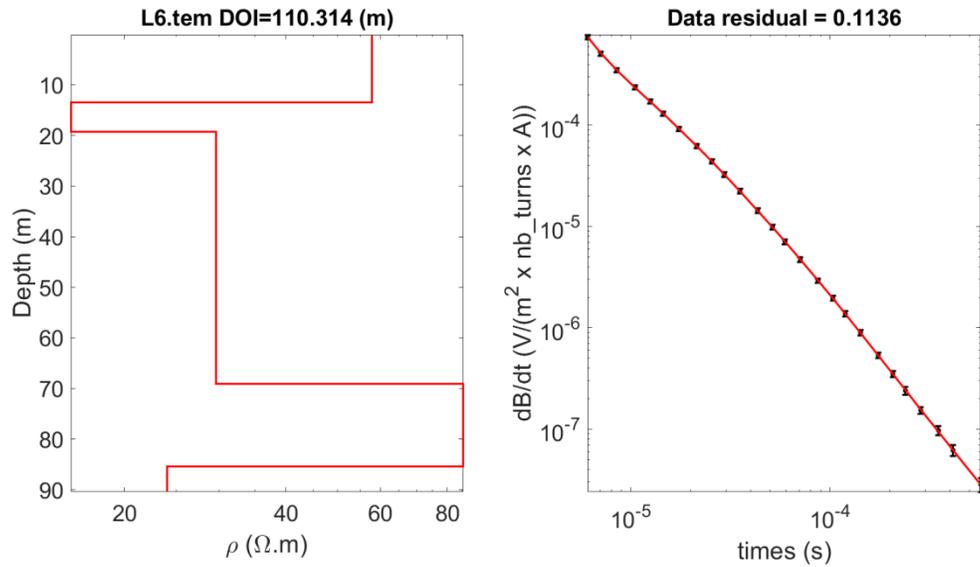
**Figura A3a1.70** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí4d3 (punto 74 en Figura A3a1.3).



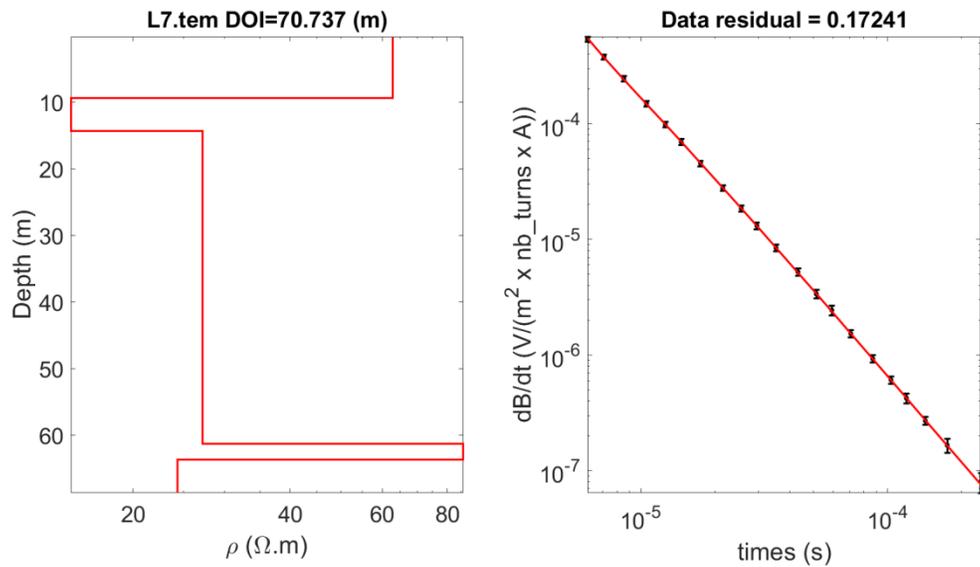
**Figura A23a171** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí4i (punto 75 en Figura A3a1.3).



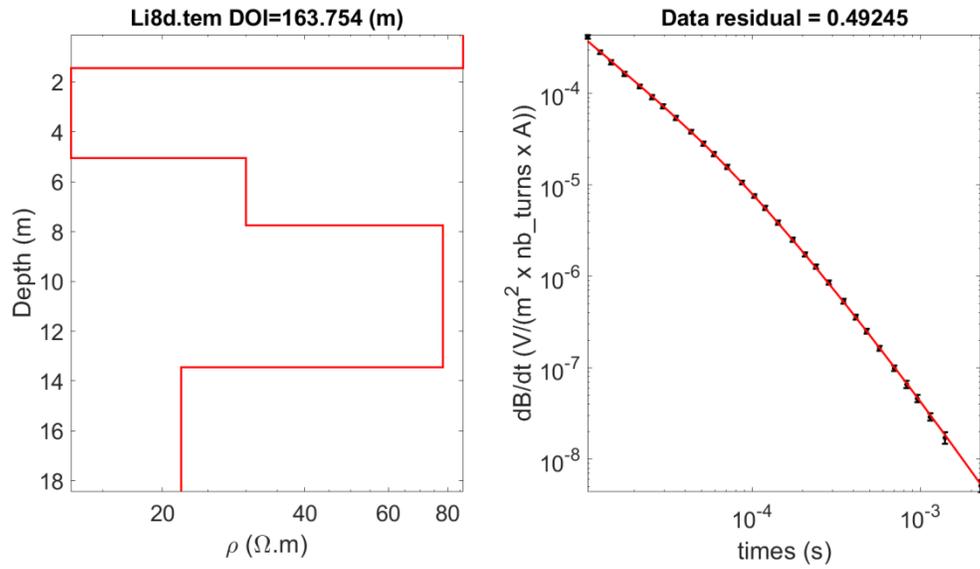
**Figura A3a1.72** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí5 (punto 76 en Figura A3a1.3).



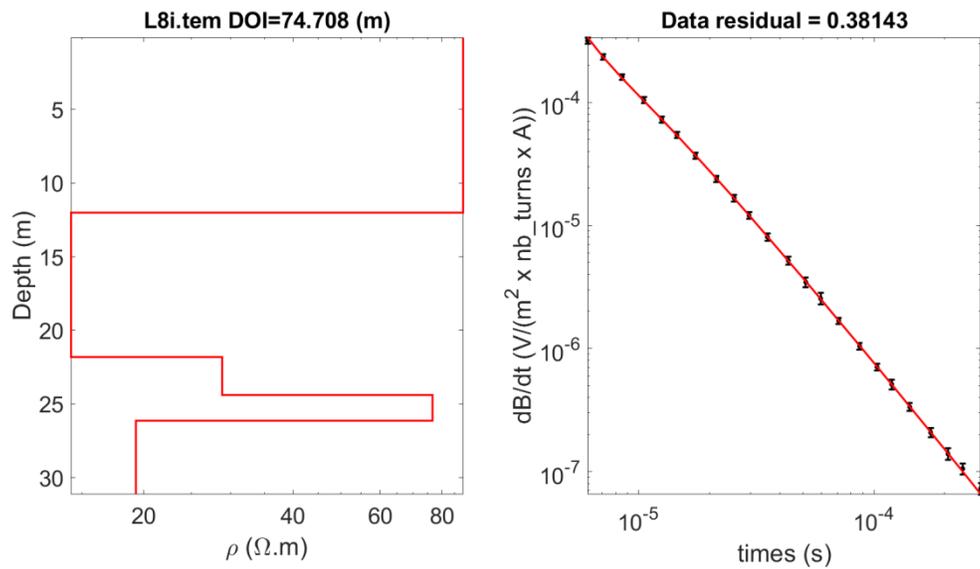
**Figura A3a1.73** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí6 (punto 77 en Figura A3a1.3).



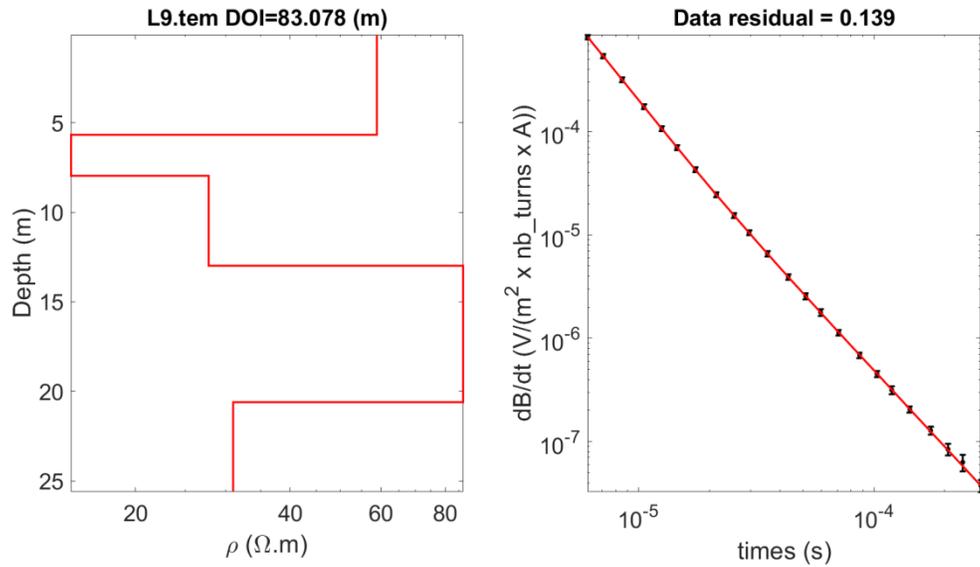
**Figura A3a1.74** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí7 (punto 78 en Figura A3a1.3).



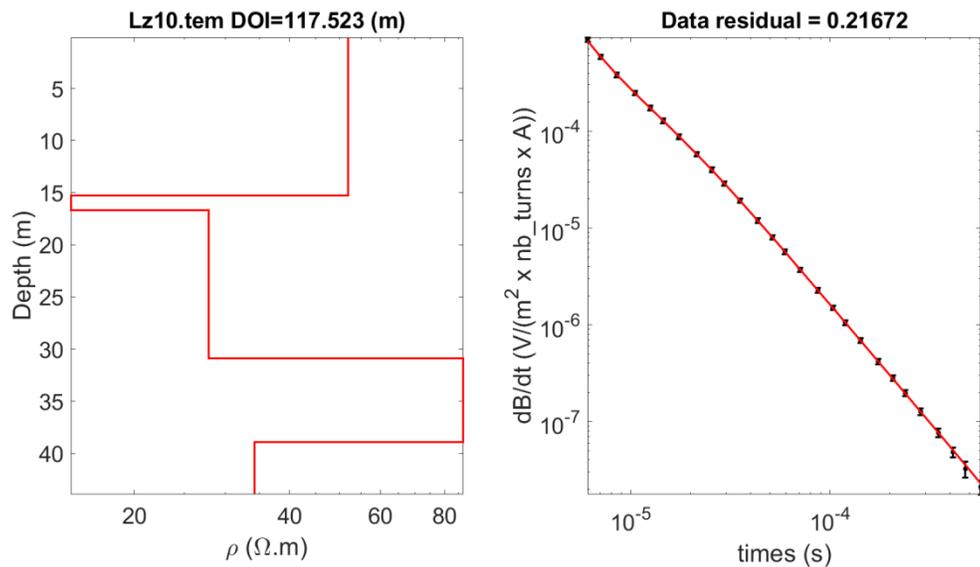
**Figura A3a1.75** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí8d (punto 79 en Figura A3a1.3).



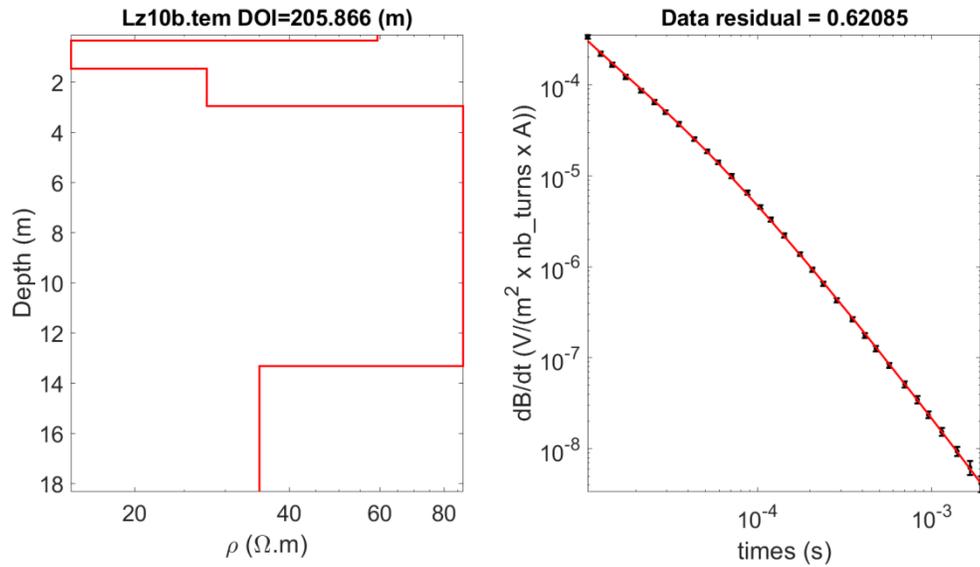
**Figura A3a1.76** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí8i (punto 80 en Figura A3a1.3).



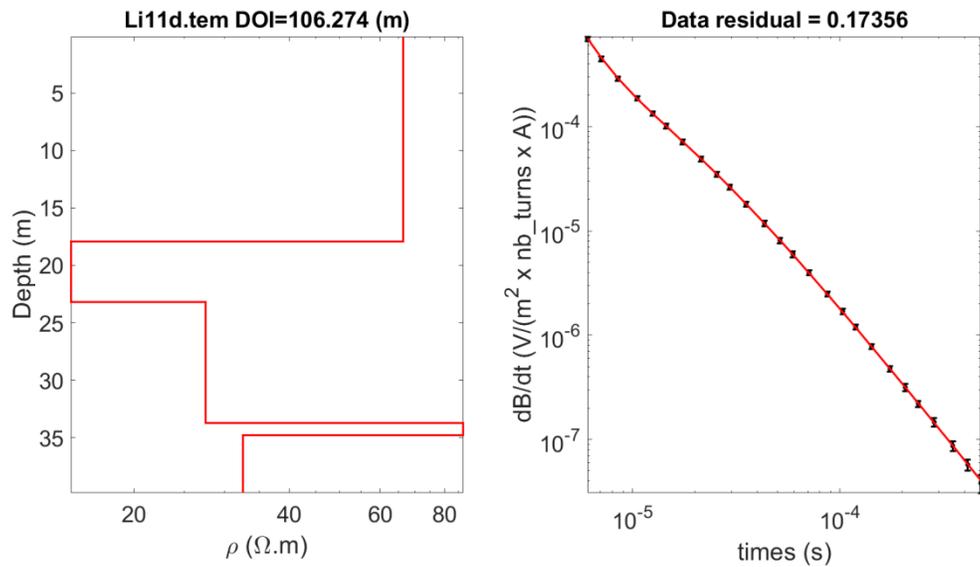
**Figura A3a1.77** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí9 (punto 81 en Figura A3a1.3).



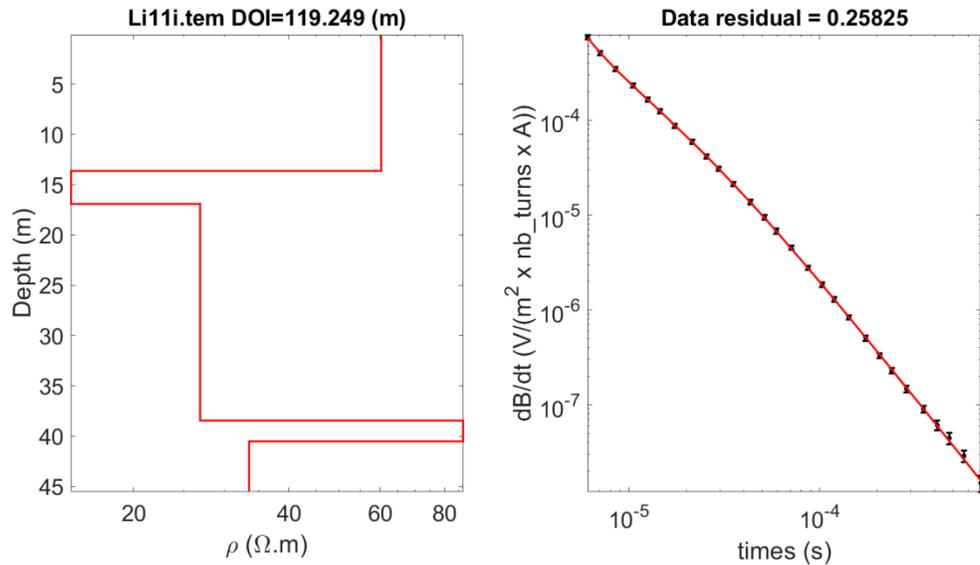
**Figura A3a1.78** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí10 (punto 82 en Figura A3a1.3).



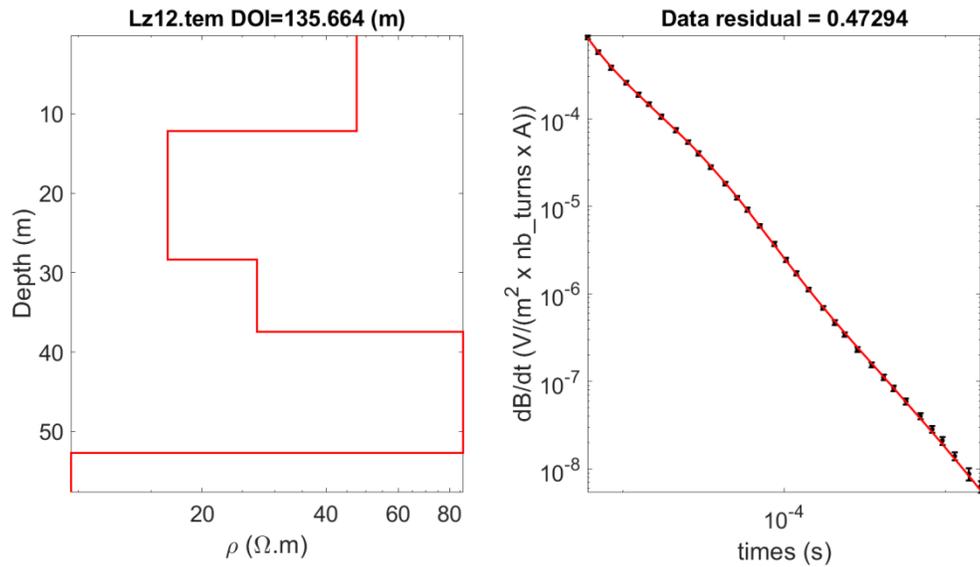
**Figura A3a1.79** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí10b (punto 83 en Figura A3a1.3).



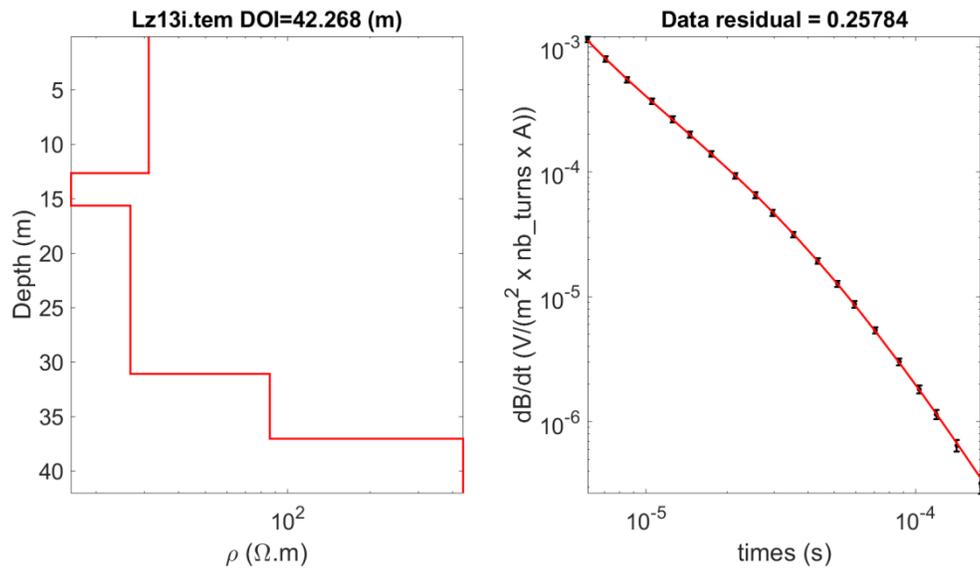
**Figura A3a1.80** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí11d (punto 84 en Figura A3a1.3).



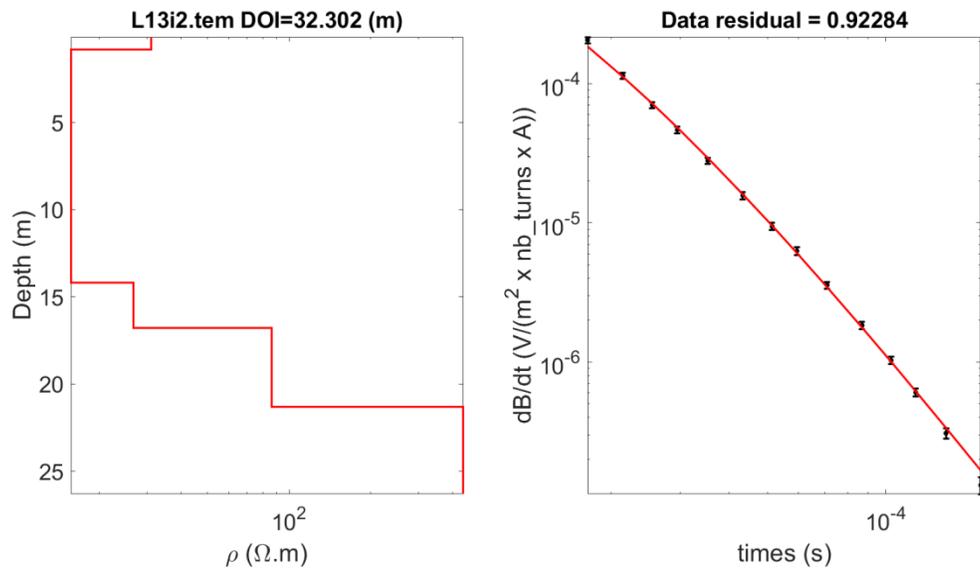
**Figura A3a1.81** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí11i (punto 85 en Figura A3a1.3).



**Figura A3a1.82** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí12 (punto 86 en Figura A3a1.3).



**Figura A3a1.83** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí13i (punto 87 en Figura A3a1.3).



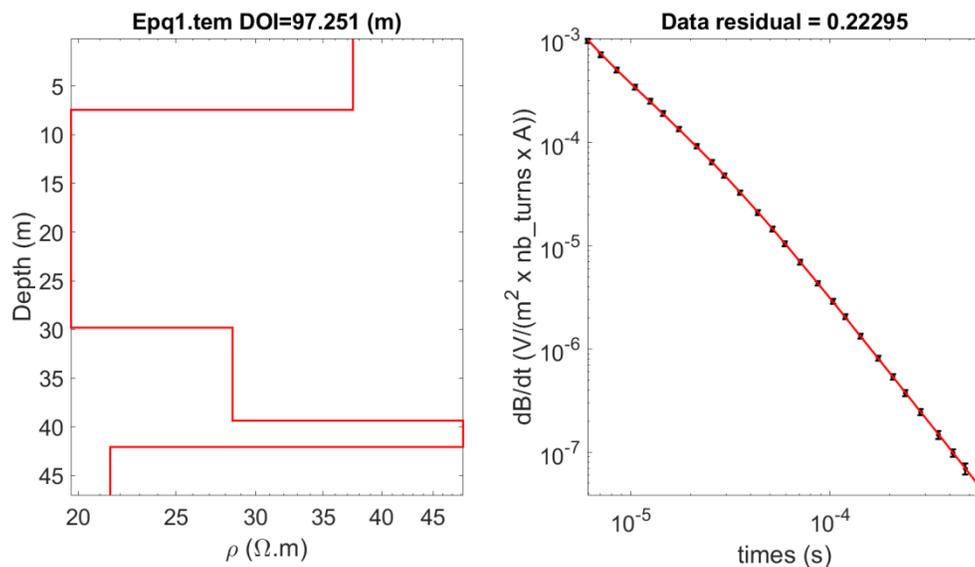
**Figura A3a1.84** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí13i2 (punto 88 en Figura A3a1.3).

## Estero Punitaqui

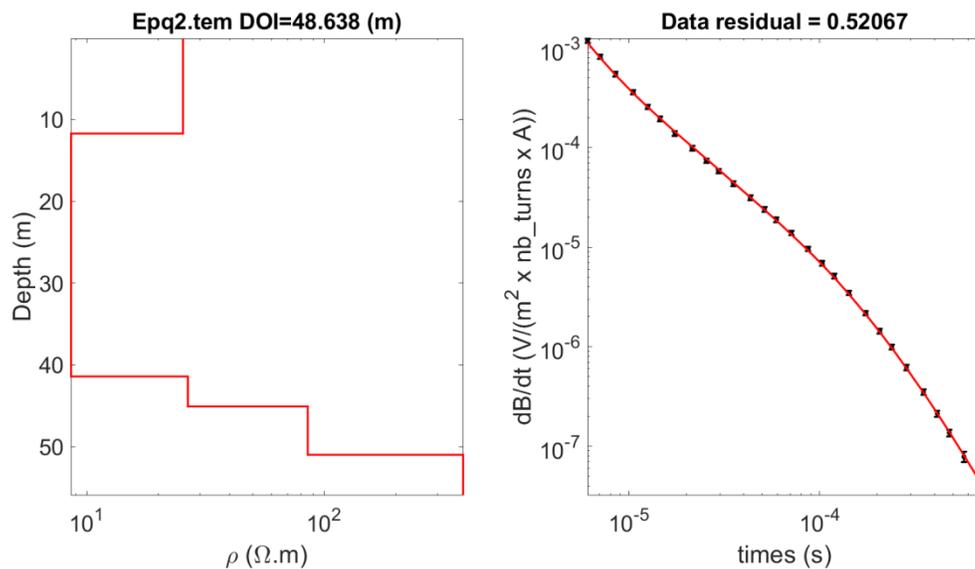
En el sector de continuidad hidrogeológica del estero Punitaqui se realizaron mediciones en 2 lugares (puntos 89 y 90 en Figura A3a1.3). Estos fueron interpretados como parte de un perfil junto a una medición hecha en el sector del río Limarí arriba de la montura geológica situada en el cruce con la ruta 5 (el punto de sondeo TEM río Limarí13i, identificado con el numero 87 en Figura A3a1.3). En la Tabla A3a1.9 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.85-A3a1.86 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones (cabe señalar que el sondeo Limarí13i se presenta en Figura A3a1.83).

PERFILES	NOMBRE	ID	Este [m]	Norte [m]	Cota [msnm]	Tamaño antena [m]/Observación
L18	EPQ1	89	261933	6600199	57	50
	EPQ2	90	258091	6602898	40	50
	LIM13i	87	257672	6604114	37	50

**Tabla A3a1.9** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector de estero Punitaqui.



**Figura A3a1.85** Resultados de la interpretación del sondeo TEM estero Punitaqui1 (punto 89 en Figura A3a1.3).



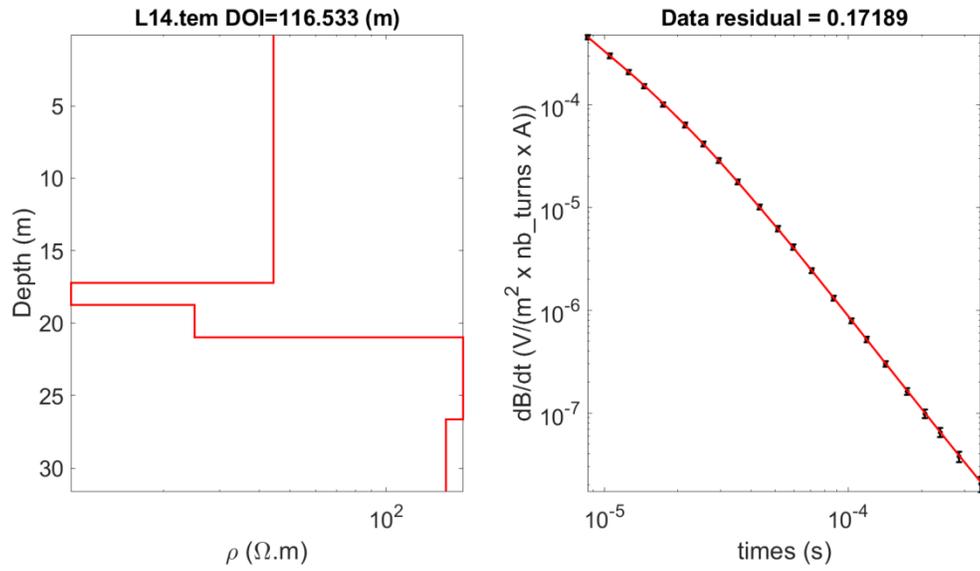
**Figura A3a1.86** Resultados de la interpretación del sondeo TEM estero Punitaqui2 (punto 90 en Figura A3a1.3).

### Río Limarí abajo de los Altos de Talinay (cruce con la ruta 5)

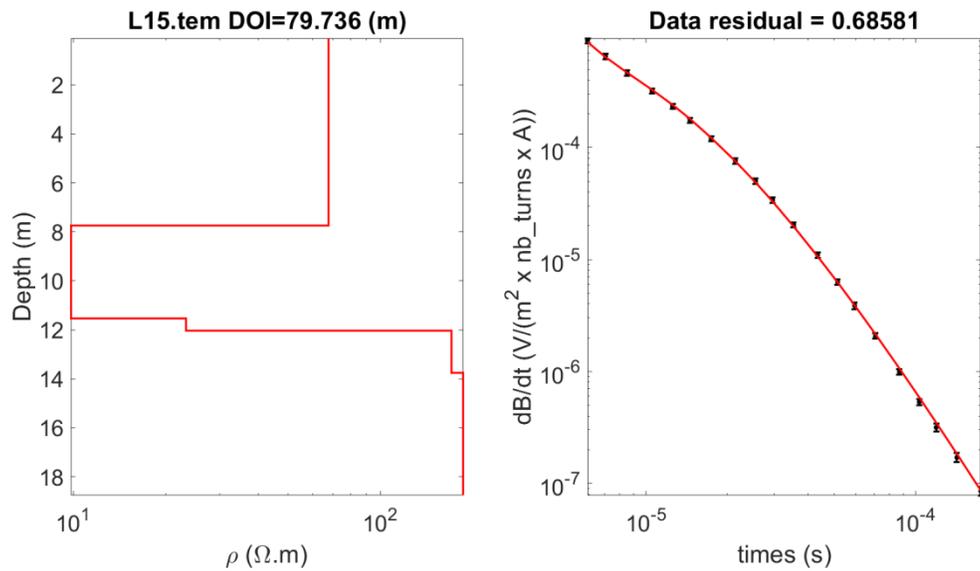
En el sector de continuidad hidrogeológica del río Limarí debajo de los Altos de Talinay se realizaron mediciones en 4 lugares con 2 transectos, por un total de 7 sondeos (puntos 91-97 en Figura A3a1.4). En la Tabla A3a1.10 se muestra un resumen de los sondeos efectuados dentro de este sector y en Figuras A3a1.87-A3a1.93 se representan los datos juntos a los resultados obtenidos desde sus interpretaciones.

PERFILES	NOMBRE	ID	X [m]	Y [m]	Z [m]	Tamaño antena [m]/ Nota
	LIM14	91	253874	6601342	25	50
	LIM15	92	248740	6597862	23	50
L19	LIM16d	93	247400	6597680	14	25
	LIM16i	94	247325	6597591	12	25
	LIM17	95	245462	6597164	17	50
L20	LIM18	96	241583	6597190	7	50
	LIM18s	97	241569	6597219	7	50

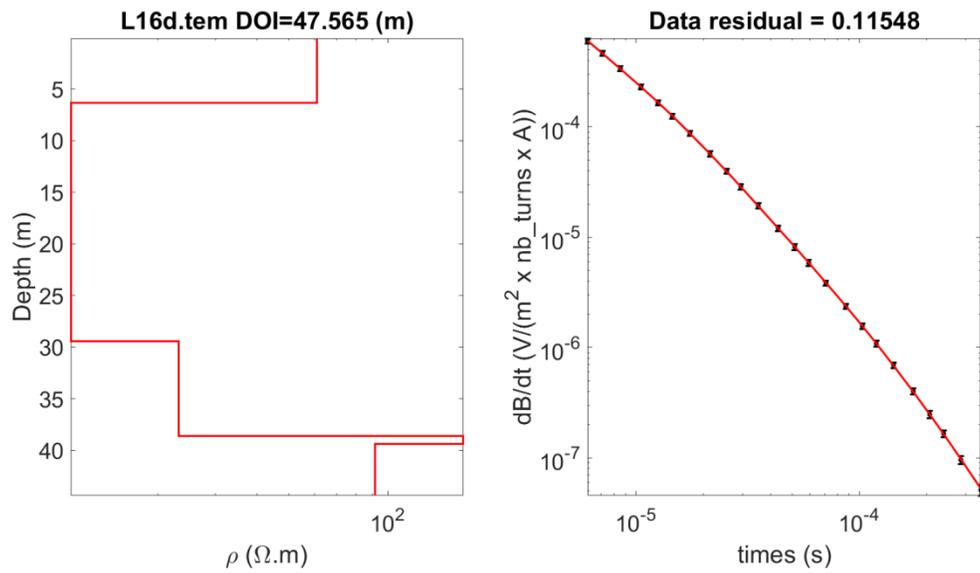
**Tabla A3a1.10** Resumen de la campaña de terreno con sondeo TEM en el sector del río Limarí abajo de la montura geológica situada en el cruce con la ruta 5.



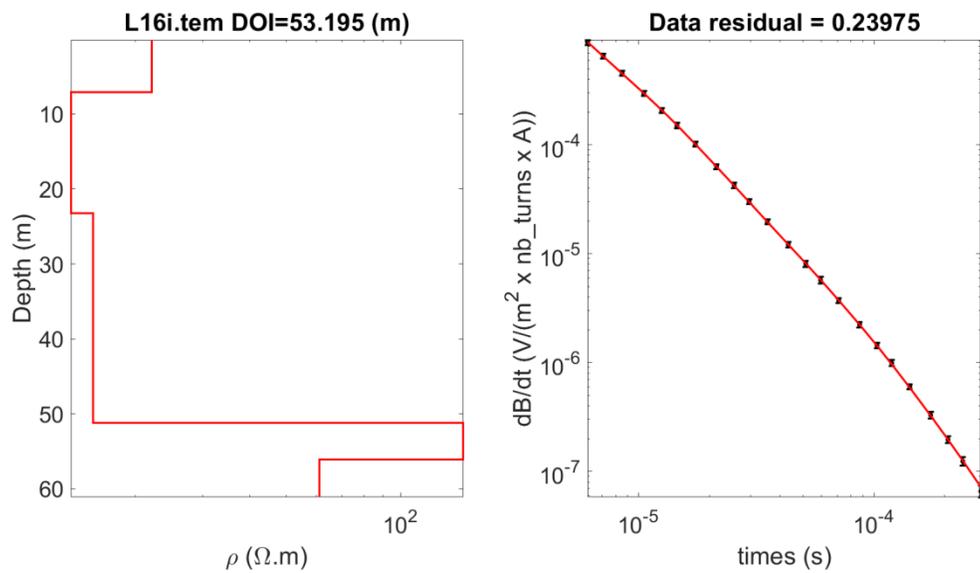
**Figura A3a1.87** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí14 (punto 91 en Figura A3a1.4).



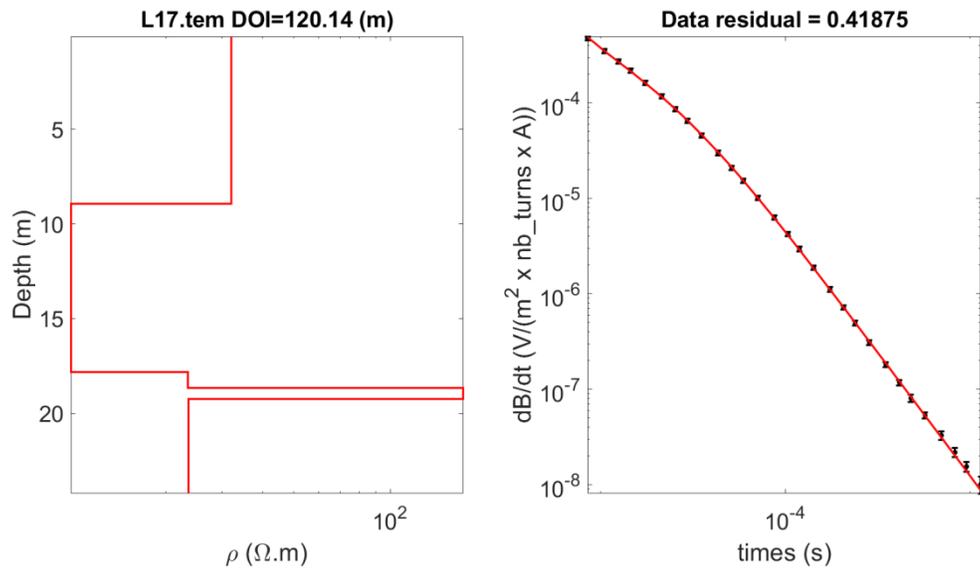
**Figura A3a1.88** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí15 (punto 92 en Figura A3a1.4).



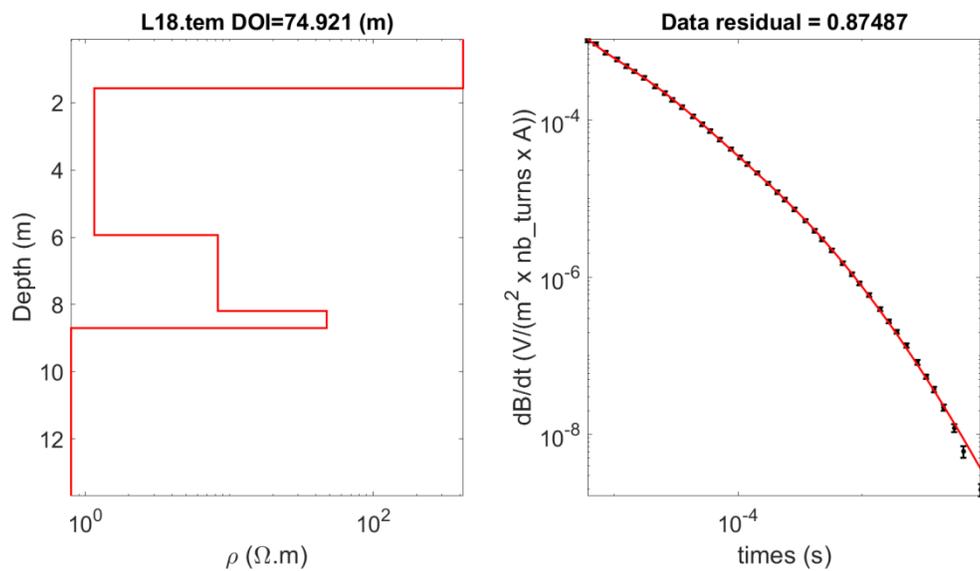
**Figura A3a1.89** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí16d (punto 93 en Figura A3a1.4).



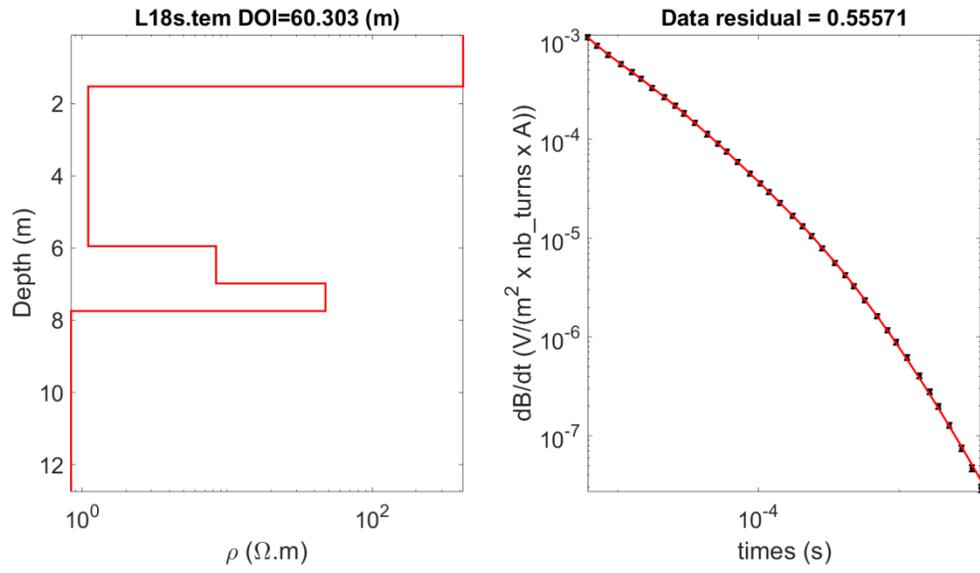
**Figura A3a1.90** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí16i (punto 94 en Figura A3a1.4).



**Figura A3a1.91** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí17 (punto 95 en Figura A3a1.4).



**Figura A3a1.92** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí18 (punto 96 en Figura A3a1.4).



**Figura A3a1.93** Resultados de la interpretación del sondeo TEM río Limarí18s (punto 97 en Figura A3a1.4).

## Apéndice 2

### Columnas estratigráficas y datos con pruebas de bombeos

Para la interpretación hidroestratigráfica de los modelos 1D de resistividad en Apéndice 1, se utilizaron las informaciones de las columnas estratigráficas más cercanas a los puntos de mediciones TEM y los datos de bombeo disponibles desde el informe de Hidrogestión (2021). En este anexo presentamos una descripción de estas columnas (Figuras A3a2.1-A3a2.15) y una tabla de resumen con sus coordenadas GPS (sistema WGS 1984/ UTM zona 19S; Tabla A3a2.1). Por cada columna se proporcionan el punto de sondeo TEM más cercano y su distancia. Además en Tablas A3a2.2-A3a2.3 presentamos los datos de las pruebas de bombeos mencionadas. Finalmente, en figura A3a2.16 se muestran las ubicaciones de los pozos descritos en este anexo y de las pruebas de bombeos en el área de estudio.

POZO	X	Y
Lingua de Cogotí	305814	6563995
La Isla	308857	6561548
ND-0402-337	311867	6546608
ND-0402-248	303430	6546022
ND-0402-265	303650	6545722
ND-0402-2008	309479	6539781
ND-0402-104 Pozo 6 (4)	302912	6577740
ND-0402-386 Pozo Panal (1)	308820	6579069
ND-0402-386 Pozo Paraiso (3)	308563	6579117
ND-0402-386 Pozo La Totora (2)	308028	6578681
ND-0402-141	312577	6592032
ND-0402-211	312534	6591861
ND-0402-359 Pozo 1	312985	6592289
GU6	312647	6595179
ND-0402-391 Pozo 1	311153	6594720
GR1	310672	6601292
Santa Catalina	293324	6612264
ND-0402-52	296350	6609070
ND-0402-272	292609	6620910
ND-0402-276	293276	6621024
ND-0402-277	292984	6620720
ND-0402-278	293086	6620651
ND-0402-365 Pozo 1	292577	6620233
ND-0402-365 Pozo 2	292650	6620535
ND-0402-323	290388	6616886
ND-0402-163	281950	6606271
Costanera 1	290953	6612474
Costanera 2	290825	6612331
Costanera 3	291135	6612686
Costanera 4	291294	6612891
La Chimba	285735	6609573
Socos Barraza Alto	261728	6599912

**Tabla A3a2.1** Resumen columnas estratigráficas utilizada para la interpretación hidroestratigráfica de los modelos 1D de resistividad en Apéndice 2.

## Río Cogotí

En el sector de continuidad hidrogeológica río Cogotí se encuentran dos columnas estratigráficas georreferenciadas (Figura A3a2.1) y cuatro columnas estratigráficas que pertenecen al catastro de pozos de la IV región del 1978 (MOH, 1978; SERPLAC, 1979), donde la georreferenciación es solamente indicativa porque es proporcionada en hojas hidrográficas cactáceas (Figura A3a2.2). En algunas de estas últimas columnas, las informaciones son proporcionadas en término de depósitos fluviales modernos o antiguos. Esta definición se refiere a dos unidades acuíferas identificadas en el informe SERPLAC (1979), donde por relleno fluvial moderno se define una capa de buena permeabilidad de depósitos ubicados en los lechos actuales de los ríos, mientras que el relleno antiguo es subyacente a esta primera capa, con un mayor potencial y una menor permeabilidad.

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeso cercanos	Distancia [m]
Ligua de Cogoti	5,6	6,7	Roca decomposta	Cogotí8b	115
	6,7 falta el dato		Roca basal		
La Isla	12,0	14	Roca decomposta	Cogotí8	133
	14,0	18	Roca meteorizada		
	18,0	50	Roca basal		

**Figura A3a2.1** Columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Cogotí.

PUEBLO	POZO	Espesore [m]	Formaciones	Profundidad roca basal [m]	Sondeo cercano
LOMA CARRIZO	A1	7,2	Fluvial Moderno	15,6	Cogotí7
		8,4	Fluvial Antiguo		
COGOTÍ 18	A8	7,2	Fluvial Moderno	15,3	Cogotí6b
		8,1	Fluvial Antiguo		
COGOTÍ 18	A3	8,3	Arena, grava y bolones	19,8	Cogotí6b
		2,3	Arcilla		
		1,8	Arena, grava y bolones		
		7,4	Arcilla		
COGOTÍ 18	P23	0,5	Arena, grava y bolones	2,1	Cogotí6b
		1,6	Arcilla		

**Figura A3a2.2** Columnas estratigráficas no georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Cogotí

## Río Combarbalá

En el sector de continuidad hidrogeológica río Combarbalá se encuentra una columna estratigráfica georreferenciada (Figura A3a2.3).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeo cercano	Distancia [m]
ND-0402-337	0	5	Arcilla	Combarbalá8	1545
	5	8	Limo		
	8	15	Grava		
	15	23	Bolones		
	23	28	Arcilla		
	28	50	Roca fracturada		

**Figura A3a2.3** Columna estratigráfica georreferenciada en el sector de continuidad hidrogeológica río Combarbalá.

## Río Pama

En el sector de continuidad hidrogeológica río Pama se encuentran dos columnas estratigráficas georreferenciadas (Figura A3a2.4).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeos cercanos	Distancia [m]
ND-0402-248	0	1	Suelo	ValleHermoso3	1825
	1	5	Gravas y bolones		
	5	10,5	Roca fracturada		
ND-0402-265	0	1	Suelo	ValleHermoso3	1455
	1	5	Gravas y bolones		
	5	10,5	Roca fracturada		
ND-0402-2008	0	1,1	Escombros de falda arcilloso	ValleHermoso1	3342
	1,1	5,65	Bolones grandes y bloques	ValleHermoso2	3310
	5,65	9,3	Ceniza volcánica consolidada con clastos esporádicos		
	9,3	12	Ceniza volcánica semiconsolidada y colmatada		

**Figura A3a2.4** Columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Pama.

## Río Guatulame

En el sector de continuidad hidrogeológica río Guatulame se encuentran 30 columnas estratigráficas georreferenciadas, ubicadas por más de la mitad en el embalse La Paloma (18 pozos de monitoreo de la dirección de obras hidráulicas). De estas columnas reportamos solo las más cercanas a los puntos de sondeos TEM efectuados (Figuras A3a2.5 y A3a2.6). Además, reportamos cinco columnas del catastro de pozos de la IV región del 1978 (MOH, 1978; SERPLAC, 1979; Figura A3a2.7).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeos cercanos	Distancia [m]
ND-0402-104 Pozo 6 (4)	0	15	15 Gravas arenosas	Guatulame3	2430
			70 Roca fracturada		
ND-0402-386 Pozo Panal (1)	0	2	2 Suelo vegetal	Guatulame3	3989
		2	18 Arenas	Guatulame4	3224
		18	40 Arenas		
		40	62 Arenas		
		62	85 Gravas arenosas		
		85	Roca		
ND-0402-386 Pozo Paraiso (3)	0	2	2 Suelo vegetal	Guatulame3	3787
		2	18 Arenas arcillosas	Guatulame4	3040
		18	40 Arenas arcillosas		
		40	62 Arenas		
		62	83 Gravas arenosas		
ND-0402-386 Pozo La Titora (2)	0	2	2 Suelo vegetal	Guatulame3	3107
		2	16 Gravas arenosas	Guatulame4	3192
		16	44 Arenas arcillosas		
		44	60 Arenas		
		60	80 Gravas arenosas		
ND-0402-141	0	0,5	0,5 Limos	Guatulame8	598
		0,5	17 Arenas gravosas		
		17	18 Arcillas cementadas con carbonato		
		18	41 Arenas gravosas		
		41	42 Roca		
ND-0402-211	0	11,5	11,5 Arenas	Guatulame8	640
		11,5	16 Arcillas gravosas		
		16	22,5 Arenas gravosas		
		22,5	27 Arenas		
		27	30 Arenas		
		0	0,6 Suelo vegetal		
		0,6	2,1 Arcillas gravosas		
		2,1	4,6 Arenas arcillosas		
		4,6	17,5 Gravas arenosas		
ND-0402-359 Pozo 1	0	6	6 Limos arcillosos	Guatulame8	972
		6	18 Arenas gravosas		
		18	40 Arenas gravosas		

**Figura A3a2.5** Algunas de las columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Guatulame (cauce del río).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeos cercanos	Distancia [m]
GU6	0	2	Terreno vegetal	Paloma lado El Palqui_i	565
	2	5	Grava	Paloma lado El Palqui_d	604
	5	6	Bolones		
	6	9,5	Grava y bolones		
	9,5	21	Arena		
	21	21,5	Arena		
	21,5	24	Arena		
	24	25	Arena arcillosa		
	25	30,5	Arena		
	30,5	33	Conglomerados		
	33	36	Grava arcillosa		
	36	39	Roca fracturada con incrustaciones de arcilla		
	39	43	Roca semiblanda		
43	53	Roca solida			
ND-0402-391 Pozo 1	0	3	Bolones y arcillas	Paloma lado El Palqui_i	1051
	3	12	Arcillas	Paloma lado El Palqui_d	982
	12	15	Arcillas gravosas		
	15	21	Roca fracturada		
	21	24	Roca		
	24	36	Roca		
	36	42	Roca		
	42	60	Roca		

**Figura A3a2.6** Algunas de las columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Guatulame (embalse La Paloma).

PUEBLO	POZO	Espestore [m]	Formaciones	Profundidad roca basal [m]	Sondeo cercano
TOME ALTO	C12	7,2	Fluvial Moderno	7,2	Guatulame7
		0	Fluvial Antiguo		
GUATULAME	A2	8,4	Fluvial Moderno	19,8	Guatulame6
		11,4	Fluvial Antiguo		
GUATULAME	A1	7,8	Fluvial Moderno	13,2	Guatulame6
		5,4	Fluvial Antiguo		
CHAÑARAL ALTO	B1	4,8	Fluvial Moderno	8,4	Guatulame5
		3,6	Fluvial Antiguo		
CHAÑARAL ALTO	B1	6,6	Fluvial Moderno	6,6	Guatulame5
		0	Fluvial Antiguo		

**Figura A3a2.7** Columnas estratigráficas no georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Guatulame.

## Río Grande arriba del embalse La Paloma

En el sector de continuidad hidrogeológica río Grande, arriba del embalse La Paloma, se encuentra una columna estratigráfica georreferenciada (Figura A3a2.8) en el embalse la Paloma.

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeos cercanos	Distancia [m]
GR1	0	0,1	Terreno vegetal	Paloma lado Montepatria1	265
		0,1	14 Bolones y gravas	Paloma lado Montepatria2	156
		14	20 Grava arenosa	Paloma lado Montepatria3	28
		20	26 Grava arcillosa	Paloma lado Montepatria4	409
		26	40 Conglomerado con arcilla	Paloma lado Montepatria5	24
		40	80 Conglomerado con arena		

**Figura A3a2.8** Columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Grande arriba del embalse La Paloma.

## Río Grande abajo del embalse La Paloma

En el sector de continuidad hidrogeológica río Grande, abajo del embalse La Paloma, se encuentran dos columnas estratigráficas georreferenciadas (Figura A3.a29) y cuatro columnas no georreferenciadas del catastro de pozos de la IV región del 1978 (MOH, 1978; SERPLAC, 1979; Figura A3a2.10).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeos cercanos	Distancia [m]
Santa Catalina	0	1	Terreno vegetal	Grande5	827
		1	3 Grava		
		3	7,2 Arena		
		7,2	9,8 Grava arenosa		
		9,8	23 Arcilla compacta y bolones		
		23	28 Arcilla		
		28	35 Grava arcillosa		
		35	36 Arena gravosa		
		36	41 Grava arcillosa		
		41	50 Roca decompuesta con incrustaciones de arcilla		
ND-0402-52	0	10	Arenas	Grande4	598
		10	15 Arenas arcillosas		
		15	25 Arcillas arenosas		
		25	45 Arcillas		

**Figura A3a2.9** Columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Grande abajo del embalse La Paloma.

POZO	Espeore [m]	Formaciones	Profundidad roca basal [m]	Sondeos cercanos
C1	12,3	Conglomerado con Grava	68,8	Grande4
	34,7	Conglomerado con Arcilla		Grande5
	23	Arcilla y Arena		
	1,2	Roca Basal		
C6	8,5	Conglomerado con Arcilla	Falta el dato	Grande4
	15,4	Grava con Arena y Arcilla		Grande5
	41,1	Conglomerado con Grava y Arcilla		
B1	2,3	Conglomerado con Arena	Falta el dato	Grande 1
	12,3	Grava y Arcilla		
	7,4	Conglomerado		
B5	3	Conglomerado con Arena	31	Grande2
	3,8	Grava y Arena		Grande3
	24,2	Conglomerado con Grava y Arcilla		
	19	Roca Basal		

**Figura A3a2.10** Columnas estratigráficas no georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Grande abajo del embalse La Paloma.

## Quebrada Ingenio

En el sector de continuidad hidrogeológica quebrada Ingenio, se encuentran siete columnas estratigráficas georreferenciadas (Figura A3a2.11).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeos cercanos	Distancia [m]
ND-0402-272	0	1	Limos arcillosos	quebrada Ingenio1	2097
	1	4	Arcillas arenosas		
	4	14	Arenas		
	14	17	Arenas		
	17	18	Roca		
ND-0402-276	0	2	Limos arenosos	quebrada Ingenio1	2464
	2	18	Arenas		
	18	62	Arenas gravosas		
	62	86	Roca fracturada		
ND-0402-277	0	5	Arenas	quebrada Ingenio1	2057
	5	24	Arenas gravosas		
	24	50	Gravas y bolones		
	50	60	Roca fracturada		
	60	80	Roca fracturada		
	80	123	Roca		
ND-0402-278	0	5	Limos arenosos	quebrada Ingenio1	2045
	5	43	Arenas gravosas		
	43	70	Gravas y bolones		
	70	80	Roca fracturada		
ND-0402-365 Pozo 1	0	0,2	Suelo vegetal	quebrada Ingenio1	1445
	0,2	0,6	Arcillas		
	0,6	2	Limos		
	2	2,6	Arenas		
	2,6	3,6	Gravas arenosas		
	3,6	4,2	Bolones		
	4,2	6	Arenas		
ND-0402-365 Pozo 2	0	0,2	Suelo vegetal	quebrada Ingenio1	1752
	0,2	0,6	Arcillas		
	0,6	2	Limos		
	2	2,6	Arenas y bolones		
	2,6	3,8	Gravas arenosas		
	3,8	4,4	Bolones		
	4,4	6	Arenas		
ND-0402-323	0	2	Suelo vegetal	quebrada Ingenio1	2600
	2	6	Arenas arcillosas	quebrada Ingenio2	3780
	6	12	Arenas gravosas	quebrada Ingenio2b	4357
	12	35	Arenas gravosas		

**Figura A3a2.11** Columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica quebrada Ingenio.

## Río Limarí arriba de los Altos de Talinay

En el sector de continuidad hidrogeológica río Limarí, arriba de los Altos de Talinay, se encuentran seis columnas estratigráficas georreferenciadas (Figuras A3a2.12-A3a2.13) y ocho columnas no georreferenciadas del catastro de pozos de la IV región del 1978 (MOH, 1978; SERPLAC, 1979; Figura A3a2.14).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeo cercano	Distancia [m]
ND-0402-163	0	5	Suelo	Limarí4_izquierdo	237
	5	12	Bolones		
	12	18	Bolones y arcilla		
	18	24	Bolones y arcilla		
	24	33	Bolones, grava y arcilla		
	33	38	Bolones y grava		
	38	45	Grava y bolones		
	45	53	Bolones, arena y grava		
	53	63	Bolones y arena		
	63	67	Bolones, grava y arena		
	67	75	Bolones, arena y grava		
	75	83	Grava, bolones y arena		
	83	90	Bolones, arena y grava		
	90	96	Bolones y arena		
	96	103	Roca fracturada		
100	106	Grava, bolones y arena			
106	115	Bolones y grava			
COSTANERA 1	0	3	Bolones y arena	Limarí2	708
	3	5	Bolones, arena y grava		
	5	11	Arcilla y grava		
	11	32	Arcilla		
	32	34	Arcilla, grava y bolones		
	34	37	Arcilla y grava		
	37	50	Arcilla, limo y grava		
	50	53	Arcilla, limo y grava		
	53	57	Arcilla, limo y grava		
	57	77	Arcilla y grava		
	77	87	Arcilla y grava		
	87	95	Grava y arcilla		
	95	109	Roca fracturada		
	109	112	Roca negra		
	112	115	Roca blanca		
COSTANERA 2	0	15	Bolones, grava y arena	Limarí2	608
	15	57	Arcilla y grava		
	57	62	Arcilla y grava		
	62	65	Arena		
	65	82	Arcilla		
	82	97	Arcilla y grava		
	97	102	Arena		
	102	125	Roca meteorizada		
125	131	Roca Basal			

**Figura A3a2.12** Columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Limarí arriba de los Altos de Talinay (parte 1).

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeo cercano	Distancia [m]
COSTANERA 3	0	1	Arena, grava y bolones	Limarí2	911
	1	10	Arena, grava y bolones		
	10	29	Arcilla y grava		
	29	31	Grava, limo y arcilla		
	31	39	Arcilla, limo y grava		
	39	60	Arcilla, limo y grava		
	60	66	Grava y arcilla		
	66	101	Arcilla y grava		
	101	107	Roca fracturada		
COSTANERA 4	0	1	Bolones, arena y grava	Limarí2	1135
	1	3	Arena		
	3	5	Arena		
	5	8	Grava y arena		
	8	10	Grava y arena		
	10	18	Arcilla y grava		
	18	23	Arcilla y arena		
	23	29	Arcilla y arena		
	29	33	Arcilla		
	33	36	Cuarzo triturado y arcilla		
	36	45	Arena y cuarzo		
	45	65	Cuarzo		
	65	110	Roca meteorizada		
LA CHIMBA	0	10	Arena	Limarí3_Izquierdo	1033
	10	53	Arena arcillosa y limosa		
	53	77	Gravas y bolones en matriz arcillosa		
	77	100	Gravas y bolones		
	102	324	Arena, limo y arcilla		

**Figura A3a2.13** Columnas estratigráficas georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Limarí arriba de los Altos de Talinay (parte 2).

PUEBLO	POZO	Espesore [m]	Formaciones	Sondeos cercanos
San Julian-La Torre	D1	1,2	Limo	Limari6
		7,6	Grava y arena	Limari7
		9,6	Grava y arcilla	Limari8d
		24,6	Grava, arcilla y limo	Limari8i
San Julian-La Torre	D2	1	Limo	Limari6
		6	Grava, conglomerado y arena	Limari7
		4	Conglomerado y arcilla	Limari8d
		3,2	Grava, conglomerado y arena	Limari8i
		5	Conglomerado y arcilla	
16,8	Arcilla			
Barrazza	C1	6,8	Conglomerado, grava y arena	Limari11
		5,2	Grava y arcilla	Limari12
		2,4	Arcilla	
		27,9	Conglomerado, grava y arcilla	
Tabalí	C3	3,6	Conglomerado, grava y arena	Limari9
		4,4	Conglomerado, grava y arcilla	Limari10
		10,4	Grava y arcilla	Limari10b
		23,44	Conglomerado, grava y arcilla	
Barrazza	C4	18,8	Grava y arena	Limari11
		2	Conglomerado, grava y arcilla	Limari12
		8	Grava y arena	
		8	Conglomerado, grava y arcilla	
		1,2	Grava	
		5,6	Arcilla	
		1,2	Conglomerado	
		1,2	Arcilla	
		0,8	Grava	
		8,2	Conglomerado, grava y arena	
Barrazza	C5	2,8	Conglomerado y arcilla	Limari11
		6,4	Grava y arena	Limari12
		40,8	Conglomerado, grava y arcilla	
Barrazza	C6	4,4	Tierra Vegetal	Limari11
		21,6	Arcilla y limo	Limari12
		3,2	Conglomerado y grava	
		6,4	Conglomerado y arcilla	
		6,4	Grava y arena	
		4	Conglomerado, grava y arcilla	
		2	Grava	
		12	Conglomerado y arcilla	
Barrazza	C7	2,4	Tierra Vegetal	Limari11
		1,6	Conglomerado, grava y arcilla	Limari12
		6	Grava y arena	
		12	Falta el dato	

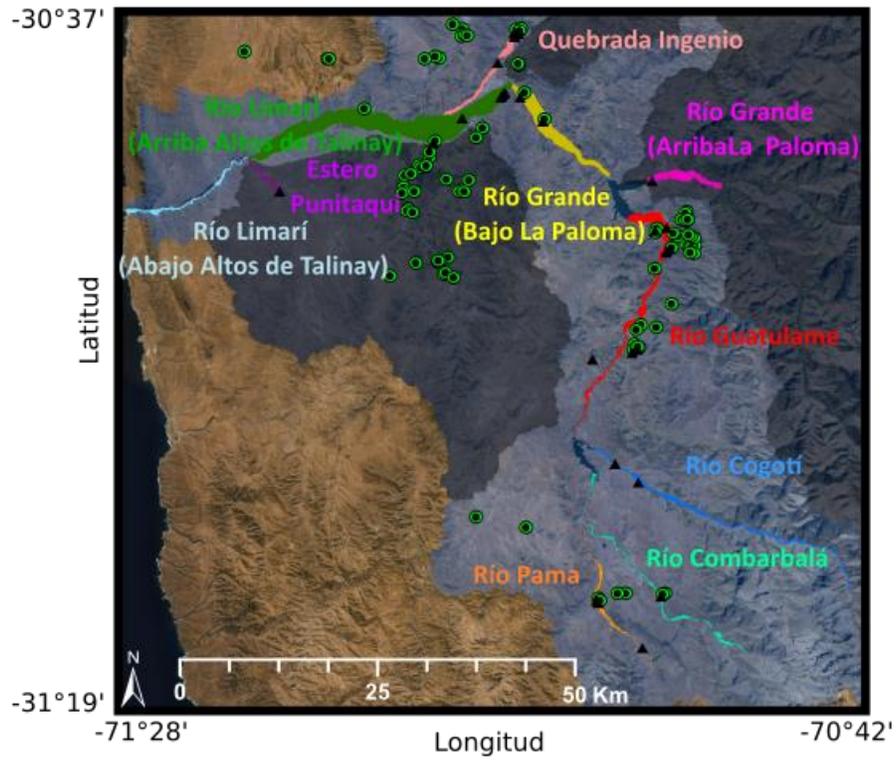
**Figura A3a2.14** Columnas estratigráficas no georreferenciadas en el sector de continuidad hidrogeológica río Limarí arriba de los Altos de Talinay.

## Estero Punitaqui

En el sector de continuidad hidrogeológica estero Punitaqui, se encuentra una columna estratigráfica georreferenciada (Figuras A3a2.15)

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Formaciones	Sondeo cercano	Distancia [m]
Socos Barraza Alto	0	1	Arena y limo	estero Punitaqui1	353
	1	7	Arena y grava		
	7	11	Grava y arena		
	11	17	Grava y arena		
	17	18	Grava y arena		
	18	21	Arena y grava		
	21	23	Grava y arena		
	23	40	Grava, arcilla limosa y arena		
	40	45	Grava y arena		
	45	51	Grava, arena y arcilla		
	51	53	Grava, arena y arcilla		
	53	60	Grava, arcilla limosa y arena		
	60	62	Grava, arena y arcilla		
	62	67	Grava, arena y arcilla		
	67	70	Grava, arena y arcilla		
	70	79	Grava y arena		
	79	84	Grava, arena y arcilla		
	84	87	Grava, arena y arcilla		
	87	90	Grava, arena y arcilla		
	90	100	Grava, arena y arcilla		

**Figura A3a2.15** Columna estratigráfica georreferenciada en el sector de continuidad hidrogeológica estero Punitaqui.



**Figura A3a2.16** Ubicaciones de los pozos descritos en Tabla A3a2.1 (triángulos negros en figura) y de las pruebas de bombeos en el área de estudio (círculos verdes con negros en figura). Fuente: Esri<sup>1</sup>.

ID	X	Y	Profundidad (m)	Espesor saturado H (m)	K(m/dia)	K (m/s)
ND-0402-1030	257051,00	6618361,00	36,00	36,00	0,16	2,E-06
ND-0402-1036	276323,00	6625150,00	20,00	16,60	0,19	2,E-06
ND-0402-106	313217,00	6585055,00	39,00	24,30	1,48	2,E-05
ND-0402-130	277975,00	6600482,00	22,00	14,86	3,27	4,E-05
ND-0402-132	315200,00	6597300,00	65,00	47,51	1,04	1,E-05
ND-0402-132	314100,00	6594000,00	66,00	54,10	1,77	2,E-05
ND-0402-133	267925,00	6617358,00	70,00	53,38	1,22	1,E-05
ND-0402-133	268189,00	6617375,00	68,00	44,07	1,80	2,E-05
ND-0402-137	314974,00	6596412,00	75,00	64,24	0,56	6,E-06
ND-0402-144	280000,00	6603380,00	108,00	92,14	0,26	3,E-06
ND-0402-160	288369,00	6608263,00	28,40	10,40	9,52	1,E-04
ND-0402-161	281370,00	6604496,00	90,00	74,35	0,13	2,E-06
ND-0402-162	281430,00	6605070,00	80,00	62,88	0,14	2,E-06
ND-0402-163	282150,00	6606600,00	100,00	72,00	0,06	7,E-07
ND-0402-174	293138,00	6616505,00	40,00	36,12	0,40	5,E-06
ND-0402-175	278120,00	6602070,00	41,00	20,85	0,78	9,E-06
ND-0402-178	280235,00	6603119,00	120,00	102,33	0,26	3,E-06
ND-0402-182	280815,00	6603196,00	71,00	55,82	1,36	2,E-05
ND-0402-182	280937,00	6603327,00	63,00	47,57	0,34	4,E-06
ND-0402-184	278984,00	6602206,00	70,00	48,00	1,36	2,E-05
ND-0402-186	315240,00	6592950,00	49,00	19,00	1,31	2,E-05
ND-0402-187	278113,00	6599864,00	64,00	52,28	2,86	3,E-05
ND-0402-187	277790,00	6599657,00	64,00	51,20	1,81	2,E-05
ND-0402-188	283272,00	6588999,00	14,50	10,35	20,82	2,E-04
ND-0402-192	285320,00	6599900,00	60,00	50,98	0,23	3,E-06
ND-0402-193	279411,00	6599862,00	33,60	21,78	1,07	1,E-05
ND-0402-1935	287520,00	6557053,00	10,00	4,65	22,52	3,E-04
ND-0402-1944	311048,00	6589782,00	28,00	20,00	2,17	3,E-05
ND-0402-196	283628,00	6601499,00	55,00	36,57	41,23	5,E-04
ND-0402-1986	293841,00	6612900,00	24,20	21,89	103,32	1,E-03
ND-0402-1988	312414,00	6547003,00	20,00	18,00	2,46	3,E-05
ND-0402-205	286564,00	6601416,00	38,00	3,00	24,75	3,E-04
ND-0402-221	278498,00	6597719,00	17,50	11,70	4,72	5,E-05
ND-0402-222	278450,00	6597390,00	12,10	6,90	10,13	1,E-04
ND-0402-222	279170,00	6597108,00	10,00	9,60	22,49	3,E-04
ND-0402-234	315989,00	6593295,00	50,00	35,28	4,31	5,E-05
ND-0402-238	311267,00	6581973,00	65,00	56,85	4,15	5,E-05
ND-0402-239	283486,00	6589273,00	12,00	9,80	47,46	5,E-04
ND-0402-248	303630,00	6546350,00	10,50	7,27	14,09	2,E-04
ND-0402-255	287570,00	6606985,00	35,00	13,23	7,91	9,E-05
ND-0402-258	315000,00	6597100,00	12,00	8,85	28,79	3,E-04
ND-0402-262	279598,00	6590511,00	90,00	80,03	0,90	1,E-05
ND-0402-265	303850,00	6546050,00	10,50	6,30	20,11	2,E-04
ND-0402-271	292986,00	6616694,00	36,00	29,75	1,39	2,E-05
ND-0402-272	292809,00	6621240,00	18,00	12,64	80,73	9,E-04
ND-0402-273	283780,00	6591238,00	15,00	13,56	2,83	3,E-05
ND-0402-275	313494,00	6594412,00	92,00	77,75	2,73	3,E-05
ND-0402-276	293476,00	6621354,00	86,00	83,90	0,57	7,E-06
ND-0402-277	293184,00	6621050,00	69,00	65,53	0,84	1,E-05
ND-0402-282	308412,00	6579832,00	43,00	19,41	5,24	6,E-05
ND-0402-284	343300,00	6647220,00	12,80	9,69	11,42	1,E-04

**Tabla A3a2.2** Resumen pruebas de bombeos disponibles en el área de estudio (1ª parte).

ID	X	Y	Profundidad (m)	Espesor saturado H (m)	K(m/día)	K (m/s)
ND-0402-303	284530,27	6588564,11	12,00	9,30	15,36	2,E-04
ND-0402-306	282627,00	6617526,00	62,00	58,04	0,46	5,E-06
ND-0402-306	282171,00	6617653,00	43,00	32,00	1,71	2,E-05
ND-0402-315	276220,00	6588800,00	60,00	35,10	1,84	2,E-05
ND-0402-317	285672,02	6621284,82	106,00	86,28	4,22	5,E-05
ND-0402-318	285656,36	6620350,29	91,00	78,12	4,07	5,E-05
ND-0402-318	286054,98	6620499,38	112,00	88,68	11,00	1,E-04
ND-0402-323	285910,00	6599956,00	35,00	32,95	1,12	1,E-05
ND-0402-326	285910,00	6599956,00	25,50	23,66	0,55	6,E-06
ND-0402-335	280794,00	6617339,00	60,00	40,42	0,52	6,E-06
ND-0402-337	312067,00	6546936,00	100,00	94,79	0,53	6,E-06
ND-0402-338	286317,00	6620405,00	100,00	71,31	1,66	2,E-05
ND-0402-344	272837,00	6610819,00	15,15	7,44	141,48	2,E-03
ND-0402-351	292960,00	6626730,00	10,50	4,20	25,97	3,E-04
ND-0402-352	284473,00	6621944,00	42,00	39,00	0,25	3,E-06
ND-0402-352	282809,00	6624654,00	48,00	48,00	0,24	3,E-06
ND-0402-352	282007,00	6625834,00	63,00	58,40	0,39	5,E-06
ND-0402-359	313185,00	6592618,00	28,00	23,95	0,54	6,E-06
ND-0402-359	313262,00	6592471,00	32,00	20,00	2,22	3,E-05
ND-0402-359	316256,00	6592835,00	40,00	29,91	1,69	2,E-05
ND-0402-360	315734,00	6593026,00	46,00	36,26	1,00	1,E-05
ND-0402-360	314528,00	6596185,00	28,00	23,95	2,27	3,E-05
ND-0402-374	309190,00	6582300,00	120,00	38,81	1,42	2,E-05
ND-0402-374	308632,00	6581756,00	73,00	62,29	1,99	2,E-05
ND-0402-385	315710,00	6592447,00	70,00	40,95	0,62	7,E-06
ND-0402-385	315796,00	6592540,00	70,00	41,70	0,75	9,E-06
ND-0402-385	316170,00	6591738,00	70,00	40,02	0,94	1,E-05
ND-0402-385	315679,00	6591857,00	70,00	40,40	1,62	2,E-05
ND-0402-386	309020,00	6579398,00	83,00	57,66	0,23	3,E-06
ND-0402-386	308228,00	6579010,00	85,00	60,23	0,39	5,E-06
ND-0402-386	308763,00	6579446,00	80,00	53,00	0,55	6,E-06
ND-0402-391	311353,00	6595049,00	42,00	36,91	0,19	2,E-06
ND-0402-391	311101,00	6594466,00	60,00	47,00	0,67	8,E-06
ND-0402-402	294032,00	6555645,00	15,00	5,00	15,19	2,E-04
ND-0402-4453	298492,00	6630473,00	28,00	24,00	1,16	1,E-05
ND-0402-4453	298311,00	6630647,00	26,00	22,00	1,31	2,E-05
ND-0402-4453	298764,00	6630147,00	38,00	30,00	1,02	1,E-05
ND-0402-473a	307185,00	6547042,00	10,00	6,80	18,69	2,E-04
ND-0402-473b	306109,00	6547003,00	38,00	30,20	3,06	4,E-05
ND-0402-52	296550,00	6609400,00	25,00	19,00	5,98	7,E-05
ND-0402-64a	293940,00	6624430,00	42,00	32,86	4,52	5,E-05
ND-0402-64	294290,00	6624260,00	55,00	41,17	14,58	2,E-04
ND-0402-686	282555,00	6590640,00	50,00	47,64	0,49	6,E-06
ND-0402-686	282730,00	6590847,00	42,00	40,42	1,06	1,E-05
ND-0402-686	282419,00	6590729,00	45,00	42,42	1,09	1,E-05
ND-0402-686	282528,00	6590847,00	45,00	34,17	1,41	2,E-05
ND-0402-77	316224,00	6593808,00	76,00	54,66	0,99	1,E-05
ND-0402-78	315819,00	6593934,00	72,00	67,20	2,85	3,E-05
ND-0402-80	315450,00	6594182,00	90,00	78,70	0,74	9,E-06
ND-0402-86	315198,00	6596076,00	80,00	76,06	0,18	2,E-06
ND-0402-86	315162,00	6595998,00	63,00	60,37	0,28	3,E-06
ND-0402-87	315060,00	6596132,00	33,00	27,85	1,74	2,E-05
ND-0402-88	315317,00	6596194,00	70,00	59,17	0,28	3,E-06

Tabla A3a2.3 Resumen pruebas de bombeos disponibles en el área de estudio (2ª parte).

