



GOBIERNO DE CHILE
Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Aguas
División de Estudios y
Planificación

INFORME FINAL

LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

REALIZADO POR:

MAYCO CONSULTORES

S.I.T. N° 324

Santiago, Diciembre 2013

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Abogado Sra. Loreto Silva Rojas

Director General de Aguas
Abogado Sr. Francisco Echeverría Ellsworth

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil Juan Carlos Salgado

MAYCO CONSULTORES LIMITADA

Jefe de Proyecto
Geólogo, MSc en Hidrogeología Luis Ignacio Ugalde Abaroa

Profesionales
Ingeniero Civil Industrial Tony Rojas
Geógrafo Catalina Sánchez

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	6
1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 CONTEXTO	9
1.2 OBJETIVOS	9
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO	9
2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	11
2.1 GEOLOGÍA	11
2.2 HIDROGEOLOGÍA.....	13
2.3 GEOFÍSICA.....	14
3 SISTEMA HÍDRICO EN ESTUDIO	16
3.1 MEDIO FÍSICO	16
3.1.1 HIDROGRAFÍA.....	16
3.1.2 OROGRAFÍA.....	18
3.1.3 CLIMA.....	18
3.2 MEDIO HUMANO.....	18
3.3 DIVISIÓN ADMINISTRATIVA	19
4 GEOLOGÍA DEL ÁREA	20
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL	20
4.2 EVOLUCIÓN TECTONO-SEDIMENTARIA.....	21
4.2.1 EOCENO MEDIO AL EOCENO SUPERIOR (CA. 42-35 MA)	23
4.2.2 OLIGOCENO-MIOCENO INFERIOR	23
4.2.3 MIOCENO INFERIOR A SUPERIOR BAJO (CA. 10 MA)	25
4.2.4 MIOCENO SUPERIOR AL PLIOCENO	26
4.2.5 PLIOCENO-PLEISTOCENO	27
4.2.6 CUATERNARIO	29
4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	29
4.4 GEOMETRÍA INTERNA DE LA CUENCA.....	29
4.5 EVOLUCIÓN PALEOCLIMÁTICA	33
5 HIDROGEOLOGÍA	35
5.1 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL.....	35
5.2 HIDROGEOLOGÍA LOCAL.....	35
5.2.1 PAMPA PUNO (INGEOREC, 2001)	35
5.2.1.1 Ubicación	35
5.2.1.2 Unidades Hidrogeológicas.....	35
5.2.1.2.1 Unidad N° 1- lqnimbritas del Mioceno	35
5.2.1.2.2 Unidad N° 2 - Sedimentaria	36
5.2.1.2.3 Unidad N°3 — Roca de Basamento	36
5.2.1.3 Elevación Superficie Freática.....	36
5.2.1.4 Parámetros Hidráulicos	37
5.2.1.5 Recarga, Dirección de Flujo y Descarga	38
5.2.1.6 Volumen Embalsado	39
5.2.2 POLAPI (FCAB, 2003)	39
5.2.2.1 Ubicación	39
5.2.2.2 Unidades Hidrogeológicas.....	39
5.2.2.2.1 Unidad I.....	39

5.2.2.2.2	Unidad II.....	39
5.2.2.2.3	Unidad III	40
5.2.2.2.4	Unidad IV.....	40
5.2.2.2.5	Unidad V	40
5.2.2.3	Elevación Superficie Piezométrica	41
5.2.2.4	Parámetros Hidráulicos	41
5.2.2.4.1	Transmisividad.....	41
5.2.2.4.2	Coefficiente de Almacenamiento.....	41
5.2.2.5	Recarga, Descarga y Dirección de Flujo	42
5.2.2.6	Volumen Almacenado	42
5.2.3	SAN PEDRO O INACALARI	42
5.2.3.1	Ubicación	42
5.2.3.2	Unidades Hidrogeológicas.....	42
5.2.3.3	Elevación Superficie Freática.....	42
5.2.3.4	Parámetros Hidráulicos	43
5.2.4	YALQUI (CONSORCIO MATRAZ, 2012)	44
5.2.4.1	Ubicación	44
5.2.4.2	Unidades Hidrogeológicas.....	44
5.2.4.2.1	Acuífero Superior	46
5.2.4.2.2	Acuitardos Ignimbrítico y Detrítico.....	46
5.2.4.2.3	Acuífero Inferior.....	46
5.2.4.3	Elevación Superficies Freática y Piezométrica.....	47
5.2.4.3.1	Superficie Freática Acuífero Superior.....	47
5.2.4.4	Superficie Piezométrica Acuífero inferior.....	47
5.2.4.5	Parámetros hidráulicos.....	47
5.2.4.5.1	Conductividad Hidráulica	47
5.2.4.5.2	Coefficiente de Almacenamiento.....	48
5.3	CATASTRO DE POZOS.....	48
6	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	52
6.1	TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO (TEM)	52
6.1.1	TRABAJOS EN TERRENO.....	52
6.1.2	PROCESAMIENTO DE DATOS	56
6.1.3	RESULTADOS	56
6.2	PROSPECCIÓN GRAVIMÉTRICA.....	60
6.2.1	TRABAJOS EN TERRENO.....	60
6.2.2	PROCESAMIENTO DE DATOS	60
6.2.3	GEOREFERENCIACIÓN	61
6.2.4	RESULTADOS	61
7	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
7.1	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS TEM.....	64
7.1.1	CORRELACIÓN GENERAL.....	64
7.1.2	CALIBRACIÓN	65
7.1.3	INTERPRETACIÓN	68
8	MODELAMIENTO HIDROGEOLOGICO TRIDIMENSIONAL.....	70
8.1	LÍMITES DEL DOMINIO	70
8.2	PERFILES BIDIMENSIONALES	71
8.3	GEOMETRÍA DE UNIDADES ACUÍFERAS	77
8.3.1	CONTACTO BASAMENTO - RELLENO.....	77
8.3.2	ACUÍFERO INFERIOR	78
8.3.3	ACUITARDO.....	80
8.3.4	ACUÍFERO SUPERFICIAL.....	81

8.4	MODELO HIDROGEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL	82
9	VOLUMEN EMBALSADO.....	84
9.1	ACUÍFERO SUPERFICIAL.....	84
9.2	ACUÍFERO INFERIOR	84
10	POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO	85
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
11.1	CONCLUSIONES.....	86
11.1.1	HIDROGEOLOGÍA LOCAL.....	86
11.1.2	PROSPECCIONES GEOFÍSICAS Y MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL	87
11.1.3	ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES EMBALSADOS.....	88
11.1.4	POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO.....	88
11.2	RECOMENDACIONES	88
12	BIBLIOGRAFÍA.....	89

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1	Cuencas y Subcuencas Río Loa (Dirección General de Aguas, 1980)
Tabla 2	Nivel Estático Pozos Pampa Puno (Ingeorec, 2001)
Tabla 3	Parámetros Hidráulicos Pozos Pampa Puno (Ingeorec, 2001)
Tabla 4	Nivel Estático Superficie Piezométrica (FCAB, 2003)
Tabla 5	Transmisividad del Acuífero (FCAB, 2003)
Tabla 6	Elevación Superficie Freática
Tabla 7	Parámetros Hidráulicos
Tabla 8	Pozos Cuenca Hidrográfica Río Loa (elaboración propia)
Tabla 9	Pozos Vecindad Cuenca Hidrográfica Río Loa (fuente: elaboración propia)
Tabla 10	Ubicaciones de Muestreo TEM (datum WGS84)
Tabla 11	Relación entre Resistividad, Litología y Contenido de Agua (fuente: elaboración propia)
Tabla 12	Ubicaciones de Calibración Prospección Geofísica

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1 Localización Área de Estudio (Fuente ESRI National Geographic del Mundo)
- Figura 2 Diagrama Unifilar Río Loa (Edwards, R., 1991)
- Figura 3 Contexto Geológico de la Cuenca Calama (Blanco, 2008)
- Figura 4 Episodios Paleogeográficos Principales de la Cuenca Calama (Blanco, 2008)
- Figura 5 Sistema de Hemigraben originado por la Falla Loa (Blanco, 2008)
- Figura 6 Perfil Este Oeste de la Cuenca Calama (Blanco, 2008)
- Figura 7 Crono-estratigrafía de la Cuenca Calama en el Terciario (Blanco, 2008)
- Figura 8 Depocentros de la Cuenca Calama (Jordan et al., 2006)
- Figura 9 Corte Geológico Línea Sísmica Z1F006 (Blanco y Tomlinson, 2009)
- Figura 10 Corte Geológico Línea Sísmica Z1F007 (Blanco y Tomlinson, 2009)
- Figura 11 Correlación de eventos paleolacustres en cuencas cenozoicas de los Andes Centrales (Blanco, 2008)
- Figura 12 Unidades Hidrogeológicas Polapi (FCAB, 2003)
- Figura 13 Modelo Hidrogeológico Conceptual (Errol Montgomery, 2009)
- Figura 14 Perfil TEM-1
- Figura 15 Perfil TEM-2
- Figura 16 Perfil TEM-3
- Figura 17 Perfil TEM-4
- Figura 18 Perfil TEM-5
- Figura 19 Mapa de la Gravedad de Bouguer Simple (fuente: elaboración propia)
- Figura 20 Mapa de la Gravedad de Bouguer Residual (fuente: elaboración propia)
- Figura 21 Perfil Geológico Calama – Quebrada Yalqui (Blanco, 2008)
- Figura 22 Límites del Modelo Hidrogeológico Tridimensional (fuente elaboración propia)
- Figura 23 Perfil Bidimensional Sección TEM 1
- Figura 24 Perfil Bidimensional Sección TEM 2

- Figura 25 Perfil Bidimensional Sección TEM 3
- Figura 26 Perfil Bidimensional Sección TEM 4
- Figura 27 Perfil Bidimensional Sección TEM 5
- Figura 28 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional Longitudinal
- Figura 29 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 1
- Figura 30 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 2
- Figura 31 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 3
- Figura 32 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 4
- Figura 33 Isopacas del contacto Basamento-Relleno
- Figura 34 Techo acuífero profundo
- Figura 35 Techo Acuitardo
- Figura 36 Techo Acuífero Superficial

LISTADO DE LÁMINAS

- Lámina 1 Geología
- Lámina 2 Hidrogeología
- Lámina 3 Pampa Puno
- Lámina 4 Polapi
- Lámina 5 San Pedro o Incalari
- Lámina 6 Yalqui

RESUMEN EJECUTIVO

La Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas resolvió por licitación pública mediante Resolución de Acta de Adjudicación Adquisición N° 1019-138-LP13, del 21 de Octubre de 2013, adjudicar a MAYCO Consultores el estudio Levantamiento de Información Hidrogeológica Región de Antofagasta. El objetivo general del presente estudio es la revisión y análisis de antecedentes geofísicos, geológicos, estratigráficos e hidrogeológicos, para definir y materializar una campaña de prospección geofísica complementaria, y, a partir de esto, generar una base de datos consolidada de la información de las características y geometría del acuífero ubicado aguas arriba de la ciudad de Calama. Este proyecto se enmarca dentro del Plan Estratégico para la Gestión de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta, el cual tiene por objetivo mejorar el conocimiento de los recursos hídricos de la región, incluyendo acortar la actual brecha de conocimiento sobre los acuíferos de la región, brecha que induce a una incertidumbre en los actuales balances hídricos.

La Cuenca del Río Loa se ubica en la II Región de Antofagasta, y comprende una superficie de 33.570 km². Se origina en la falda del volcán Miño, a 5.651 m.s.n.m., y se extiende por aproximadamente 440 km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico en caleta Huelén, con un caudal cercano a 300 l/s. Sus dos tributarios más importantes son el Río San Pedro o Inacaliri y el Río Salado. El régimen del Río Loa y sus afluentes es pluvial. Las aguas del Río Loa son utilizadas para bebida, la industria, la minería y en el riego de cuatro oasis o valles que se encuentran en sus riberas, y en otros localizados en sus afluentes y subafluentes. La Cuenca del Río Loa se encuentra regulada por el embalse Conchi, con una capacidad útil de 22 millones de m³.

En el Área de Estudio se verifica la presencia de rocas sedimentarias y sedimentos no consolidados, con un espesor medio de aproximadamente 300 m y potencias de hasta 2.500 m, los que sobreyacen a un basamento ígneo-metamórfico. Se verifica asimismo la presencia de diversos sistemas de fallas, de carácter regional y local, normales, inversas y de rumbo, formando estructuras de horst y graben, las que afectan al basamento, modificando la geometría del relleno sedimentario.

En el área de estudio se verifica la presencia de cuatro zonas que han sido exploradas por recursos hídricos: Pampa Puno, Polapi, San Pedro y Yalqui.

Pampa Puno se ubica en el extremo Norte de la Cuenca. Se verifica la existencia de una unidad acuífera emplazada en gravas semiconsolidadas (Fm Papajoy-Terciario) que subyacen a Ignimbritas del Mioceno. El espesor promedio es de 350 metros y máximo de 700 metros. La superficie freática se ubica entre 45 y 100 m de profundidad equivalentes a una elevación entre 3.940 y 4.146 m.s.n.m. La transmisividad se encuentra entre 200 a 1.000 m²/día. La recarga se asocia a infiltración de precipitaciones nivales y pluviales, asociadas a una precipitación efectiva media anual de 97 mm/año. La dirección de flujo es desde las zonas apicales (oeste de la cuenca) hacia el norte y oriente. La descarga es hacia Pampa Yocas. El volumen embalsado es de 2,40 * 10⁶ m³.

En Polapi se verifica la existencia de una unidad acuífera continua, confinada a semi confinada, emplazada en arenas gruesas y gravas. Se encuentra por lo general por debajo de los 150 metros de profundidad y presenta un espesor promedio de 200 m, alcanzando hasta 300 m. La superficie piezométrica se encuentra a una profundidad entre

125 a 170 metros bajo la superficie. La Transmisividad se encuentra entre 220 a 265 m^2/d , y el Coeficiente de Almacenamiento es de $2,4 \times 10^{-4}$. La recarga se asocia a infiltración de precipitaciones nivales y pluviales, flujos subterráneos y aportes por caudal pasante. Se estima un volumen almacenado de $2,45 \times 10^9 \text{ m}^3$.

En San Pedro o Inacalari se verifica la existencia de una unidad acuífera libre emplazada en gravas, arenas y limos. La superficie freática se ubica entre 2 a 24 m de profundidad. Resultados de Pruebas de Bombeo indican valores de Conductividad Hidráulica entre $2,08\text{E}-2$ y $1,97 \text{ cm/s}$, y Coeficiente de Almacenamiento entre $7,60 \times 10^{-4}$ y $3,40 \times 10^{-1}$.

Yalqui se ubica en el extremo sur del Área de Estudio, y en esta se verifica la presencia de dos unidades acuíferas, el Acuífero Superior Kárstico-Detrítico El Loa y un Acuífero Inferior. El Acuífero Superior es predominantemente libre, y se emplaza en rocas kárstico-arenosas, depósitos limo-arcillosos y depósitos de arenas negras, los que exhiben una potencia entre 30 y 130 m. El Acuífero Inferior es semiconfinado a confinado, y se emplaza en depósitos no consolidados de gravas aluviales, depósitos de piedemonte y depósitos aluviales, los que alcanzan potencias de hasta 300 metros. Entre ambos acuíferos se verifica la presencia de un acuitardo ignimbrítico y detrítico, formado por la Ignimbrita Artola, con una potencia de hasta 50m, y depósitos limo-arcillosos, arenosos y lavas volcánicas con una potencia de hasta 300 m. La superficie freática del Acuífero Superior se desarrolla entre los 2.600 y 2.150 m.s.n.m. con una dirección del flujo subterráneo desde el noreste al suroeste, y gradientes hidráulicos entre 2% a 6 ‰. La superficie piezométrica del Acuífero Inferior se desarrolla entre los 2.100 a 2.600 m.s.n.m., con una dirección de flujo desde el noroeste hacia el sureste, y gradiente hidráulico entre 5% a 4‰. La Conductividad Hidráulica del Acuífero Inferior se encuentra entre $1,16 \times 10^{-5}$ a $1,39 \times 10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$ mientras que la del Acuífero Superior se encuentra entre $1,74 \times 10^{-6}$ a $3,58 \times 10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$, mientras que el Coeficiente de Almacenamiento del Acuífero superior se encuentra entre $1,2 \times 10^{-4}$ a $1,6 \times 10^{-2}$ y el del Acuífero Inferior entre 3×10^{-5} a $6,9 \times 10^{-1}$.

Resultados de la integración de perfiles bidimensionales generados a partir de prospección geofísica realizada como parte del presente estudio y cartografía geológica disponible, en cuerpos tridimensionales permite señalar que en la zona central de la cuenca el contacto entre el basamento y relleno exhibe la topografía de una cuenca de hemigraben, con un depocentro de sedimentación. En la zona central, hasta los 22° Lat S se observa la presencia del acuitardo, el cual exhibe su mayor potencia en las zonas centro y occidental, acuñándose al norte. El acuífero superior se observa restringido a los sectores sur y oriental de la cuenca. El perfil gravitacional longitudinal en conjunto con los perfiles TEM 4 y TEM 3 permiten definir una unidad acuífera discontinua a lo largo del eje del Río Loa; esta unidad acuífera se correlaciona con el Acuífero Inferior en la parte central de la Cuenca Calama, y se emplaza en forma superficial. La presencia de un alto en el basamento entre aproximadamente las coordenadas UTM Norte 7.630.000 y 7.645.000 (datum WGS84), evidenciado por la prospección gravimétrica, interrumpe la proyección de la unidad acuífera descrita en el punto anterior hacia el norte (ver figura 28). Finalmente, la existencia de una zona no saturada en el extremo norte del Área de Estudio (perfil bidimensional TEM 3) sugiere que el acuífero en esta zona se emplaza, en parte, bajo la unidad de Ignimbritas del Mioceno. Esto es consistente con la hidrogeología de la unidad acuífera descrita en el sector de Pampa Puno.

El Volumen Embalsado se estima entre $6,72 \times 10^6$ a $8,96 \times 10^8 \text{ m}^3$ para el acuífero superior y entre $2,04 \times 10^8$ y $1,17 \times 10^{12} \text{ m}^3$ para el acuífero inferior.

La Cuenca de Calama exhibe un potencial hidrogeológico profundo, asociado a la generación de depocentros durante el Oligoceno a Mioceno Inferior, con espesores de relleno de sedimentos favorables para albergar reservorios de agua superiores a 2.500 m, en condiciones confinadas, junto con la existencia de condiciones paleoclimáticas húmedas favorables, en una configuración endorreica. Esta configuración posteriormente cambió a exorreica durante el Plioceno Superior alto, manteniéndose así hasta la actualidad.

Se recomienda explorar el potencial hidrogeológico profundo de la cuenca mediante una campaña de exploración geofísica con la metodología Audio Magneto Telúrico (AMT STRATAGEM). Esta utiliza los campos electromagnéticos naturales para determinar la conductividad eléctrica del subsuelo. Permite una adquisición de datos hasta los 1.000m de profundidad.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

El creciente desarrollo de la actividad minera en la Región de Antofagasta ha generado un fuerte interés en la explotación de los recursos hídricos. En particular, en la cuenca del Río Loa, se observa una presión sobre los recursos hídricos provenientes de fuentes tanto superficiales como subterráneas, tanto en su calidad como en su cantidad.

El Plan Estratégico para la Gestión de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta contempla diversas iniciativas, algunas en curso y otras planificadas, para mejorar el conocimiento de los recursos hídricos de la región. Los resultados preliminares de la etapa de diagnóstico de dicho Plan indican la existencia de una brecha de conocimiento sobre los acuíferos de la región, la que induce a incertidumbre en la estimación de los balances hídricos.

Debido a la importancia de los acuíferos como elementos del ciclo hidrológico en esta región, se estima por tanto necesario levantar información para determinar la geometría de los acuíferos y caracterizar los rellenos que los conforman.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general del presente estudio es la revisión y análisis de antecedentes geofísicos, geológicos, información de estratigrafía, niveles y valores de parámetros de acuíferos, para definir y materializar una campaña de prospección geofísica complementaria, y, a partir de esto, generar una base de datos consolidada de la información de las características y geometría del acuífero ubicado aguas arriba de la ciudad de Calama.

1.2.2 Objetivos Específicos

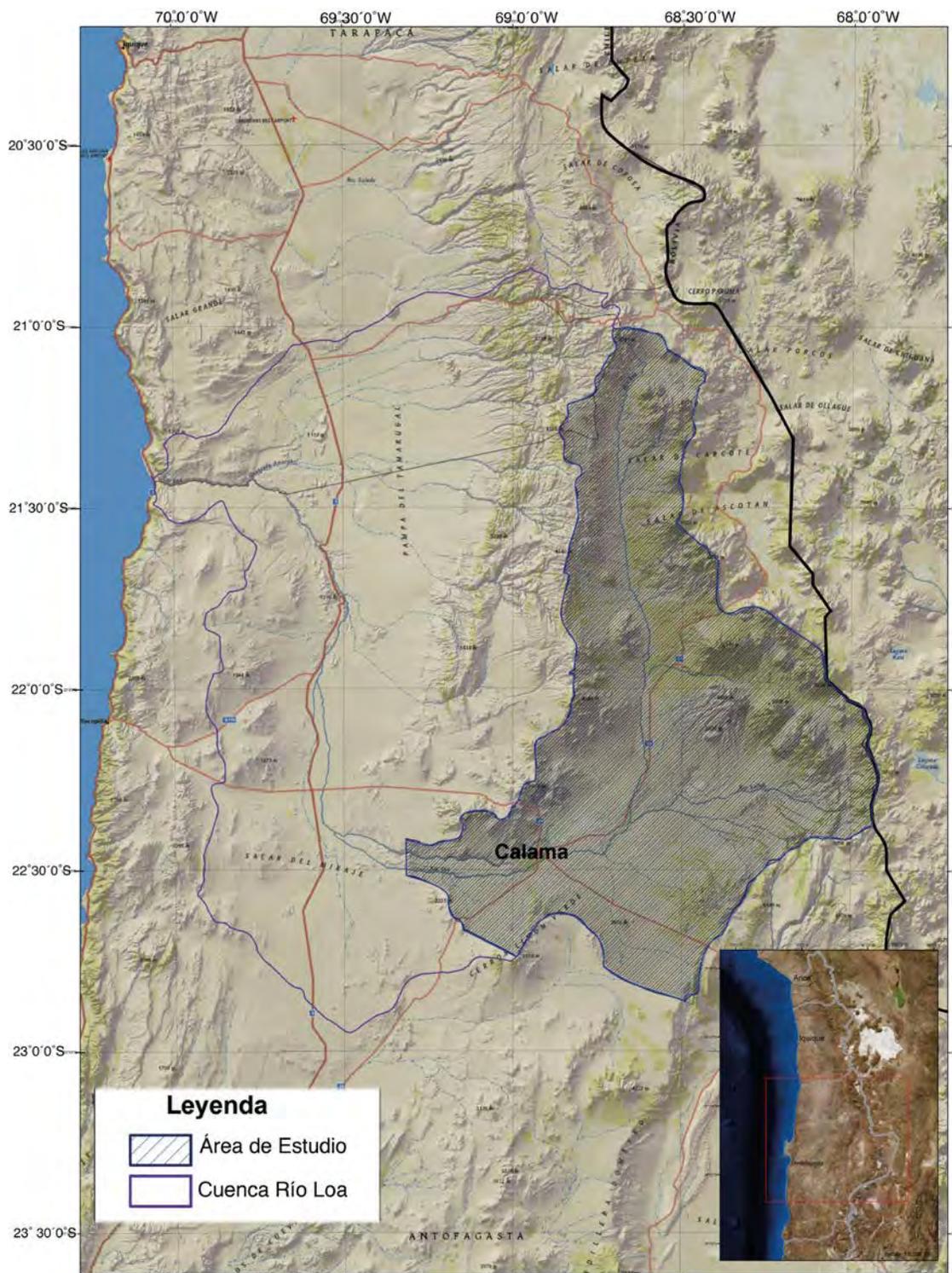
Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- Recopilación y revisión de antecedentes,
- Planificación y diseño de la campaña de terreno,
- Prospecciones geofísicas,
- Análisis e interpretación de la nueva información y de los antecedentes ya existentes,
- Determinación del volumen embalsado del acuífero, y
- Desarrollo de una base de datos consolidada, representada en un SIG

1.3 Localización Geográfica y Cobertura del Estudio

El estudio considera los acuíferos de la cuenca del Río Loa, ubicados aguas arriba de la ciudad de Calama, II Región de Antofagasta (ver Figura 1).

Figura 1 Localización Área de Estudio (Fuente ESRI National Geographic del Mundo)



2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Durante el presente estudio se realizó una recopilación y revisión de antecedentes geológicos, hidrogeológicos y geofísicos disponibles sobre el área de estudio.

A continuación se enumeran los informes utilizados, en orden temático y cronológico, junto con una descripción de su contenido

2.1 Geología

- Ramírez, C., y Huete, C., 1981. Geología de la Hoja Ollagüe, Región de Antofagasta. Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Cartografía geológica básica (unidades litológicas, estructuras geológicas y alteración y mineralización hidrotermal) a escala 1:250.000. Hoja del mapa y texto adicional de 47 páginas. Carta Geológica de Chile, publicación seriada Nº 40 del Instituto de Investigaciones Geológicas. Producto impreso, disponible también en formato pdf.
- Marinovic, N., y Lahsen, A., 1984. Geología de la Hoja Calama, Región de Antofagasta. Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Cartografía geológica básica (unidades litológicas, estructuras geológicas y alteración y mineralización hidrotermal) a escala 1:250.000. Hoja del mapa y texto adicional de 140 páginas. Carta Geológica de Chile, publicación seriada Nº 58. Producto impreso, disponible también en formato pdf.
- Tomlinson, A., Blanco, N., Makshev, V., Dilles, J., Grunder, A., y Ladino, M., 2001. Geología de la Precordillera Andina de Quebrada Blanca-Chuquicamata, Región I y II (20°30` - 22°30` S). Volumen I Texto. Informe Registrado IR-01-20. Solicitado al Servicio Nacional de Geología y Minería por la Corporación Nacional del Cobre de Chile CODELCO – CHILE, y publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería y la Corporación Nacional del Cobre. Comprende un estudio geológico de la franja longitudinal que se extiende entre los yacimientos de tipo pórfido cuprífero de Quebrada Blanca y Chuquicamata, en la Cordillera de Domeyko de las Regiones I y II, con énfasis en geología estructural y evolución geológica del Terciario. Incluye un mapeo geológico a escala 1:50.000 de 18,5 cuadrángulos, centrado en el análisis y actualización de la estratigrafía de la franja, como base para sustentar un estudio estructural sobre el posible control tectónico de los yacimientos tipo pórfido cuprífero emplazados en esta zona, y sus eventuales desplazamientos post-mineralización. Trabajo complementado por dataciones radiométricas K-Ar y U-Pb en zonas de mayor complejidad geológica, como también muestreo geoquímico y petrográfico, principalmente de unidades ígneas. Incluye el Mapa Geológico Proyecto Quebrada Blanca – CODELCO (Quebrada Caya-Salar de Coposa-Copaquiri-Ujina) a escala 1:100.000 (no publicado). Entre los cuadrángulos con mapeo geológico regional a escala 1:50.000 de utilidad al presente estudio se incluyen:
 - Carta Chela (Mapa M09)
 - Carta Cerro Palpana (Mapa M11)
 - Carta Estación San Pedro (Mapa M14)
 - Carta Conchi (Mapa M17)
 - Carta Calama (Mapa M19)
 - Carta Chiu Chiu (Mapa M20)

- Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003. Mapa Geológico de Chile. Síntesis del conocimiento geológico nacional disponible hasta esa fecha en cartografía geológica básica (unidades litológicas, estructuras geológicas y alteración y mineralización hidrotermal) a escala 1:1.000.000. Mapa con leyenda ampliada, sin texto adicional. Para el área de estudio utilizó la información proveniente de Marinovic, N., Lahsen, A., 1984 (Geología de la Hoja Calama, Región de Antofagasta. Escala 1:250.000). Publicación Geológica Digital No. 4.
- May, G., Hartley, A.J., Chong, G., Stuart, F., Turner, P., y Kape, S.J., 2005. Eocene to Pleistocene lithostratigraphy, chronostratigraphy and tectonosedimentary evolution of the Calama Basin, northern Chile. Revista Geológica de Chile, Vol. 32: 33-58. Propone un nuevo esquema litoestratigráfico pos-Paleoceno para esta cuenca. Las características claves de este esquema son:
 - la Formación Calama se mantiene aunque su edad es considerada como Eoceno Inferior (?) a Mioceno Inferior (?),
 - la Formación El Loa es redefinida como Grupo y asignada al Mioceno Inferior-Plioceno Superior; este Grupo incluye la definición de cuatro nuevas formaciones: Jalquinche, Opache, Lasana y Chiquinaputo,
 - se mantiene la definición de la Formación Chiu-Chiu, la unidad más superior en la Cuenca de Calama, con su edad Plioceno a Pleistoceno
 - la evolución sedimentaria del relleno de la Cuenca de Calama muestra tres fases distintas de sedimentación limitadas discordantemente: Eoceno-Oligoceno, Mioceno Temprano a Mioceno Medio y Mioceno Tardío a Plioceno Tardío.
- Blanco, N., 2008. Estratigrafía y Evolución Tectono-Sedimentaria de la Cuenca Cenozoica de Calama (Chile, 22° S). Tesis para optar al Grado de Master de Geología Experimental, Especialidad Estratigrafía y Sedimentología, Universidad de Barcelona. Comprende el desarrollo de un esquema crono-estratigráfico y arquitectural de la Cuenca cenozoica Calama, una reconstrucción de la evolución paleogeográfica y tectónica de la cuenca desde el Eoceno hasta la actualidad, documentando los principales eventos tectónicos, volcánicos y climáticos, y una comparación con los eventos tectono-sedimentarios y los episodios lacustres como potenciales indicadores de fase paleoclimáticas húmedas, documentados en otras cuencas cenozoicas de los Andes Centrales (cuencas Lauca, Quillagua-Llamara, Salar de Atacama y Arizaro), a partir de datos cartográficos, estratigráficos, sedimentológicos, geocronológicos y sísmicos de la Cuenca de Calama recogidos en proyectos de cartografía 1:50.000 de SERNAGEOMIN y de otros datos sobre cuencas cenozoicas de los Andes Centrales, financiados por proyectos FONDECYT, desarrollados durante los años 1999-2006.
- Tomlinson, A.J., Blanco, N. 2008. Geología de la Franja El Abra –Chuquicamata, II Región (21°45′-22°30′S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-35, 196 p., 5 mapas escala 1:50.000. Santiago. Abarca 5 cuadrángulos más actualizados en relación con el trabajo de Tomlinson et al (2001), de entre los cuales se incluyen en el área de estudio los de Conchi, Chiu-Chiu y Calama. Presenta figuras de reconstrucción del basamento de la cuenca Calama y los espesores determinados a partir de sondajes, así como un perfil desde Quebrada Yalqui hasta Calama.

- Blanco, N.; Tomlinson, A.J., 2009. Carta Chiu Chiu, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 117: 54 p., 1 mapa escala 1:50.000. Santiago.
- Tomlinson, A.J., Blanco, N.; Dilles, J.H. 2010. Carta Calama, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Preliminar 8, 1 mapa escala 1:50.000. Santiago.

2.2 Hidrogeología

- Ingeorec Ltda., 2001. Hidrología y Modelo de Simulación Pampa Puno. Modelo de simulación hidrogeológico del acuífero del sector de Pampa Puno, con el objetivo de evaluar la factibilidad de explotación de pozos de la División CODELCO Norte existentes en el área. Incluye una recopilación y análisis de antecedentes geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos existentes e información disponible de pozos de explotación y exploración existentes, incluyendo el estudio realizado para la División por INGEDOS en Agosto del 2000, "Modelación Hidrogeológica y Extracción de 400 L/s Sector Pampa Puno". Presentado por la División Codelco Norte de Codelco-Chile como parte del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno.
- Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, 2003. Estudio Hidrogeológico y Modelo de Simulación Sector Estación Polapi, II Región. Informe Técnico para Solicitud de Concesión de Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas (Expediente ND-02-022185)". Respuesta al Ord N° 765 de la Dirección General de Aguas (DGA), en donde solicita a Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia (FCAB) determinar el efecto que una eventual extracción tendría sobre el Río Loa, extracción asociada al Derecho de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas consuntivo, de ejercicio permanente y continuo por un caudal de 22,5 l/s, a captar desde un pozo denominado SEP-1, solicitado por FCAB a la DGA. Incluye un levantamiento geológico, el desarrollo de perfiles geofísicos mediante Transiente Electromagnética (TEM), un perfilaje realizado en el pozo de bombeo, un estudio hidrológico con el fin de determinar la recarga al acuífero provocada por la infiltración por precipitación, la construcción de cuatro pozos de exploración y uno de bombeo, la realización de pruebas hidráulicas en el pozo SEP-1 y los resultados de una modelación hidrogeológica a través del código computacional MODFLOW. Incluye además un estudio hidrogeoquímico consistente en muestreo y análisis de agua en distintos sectores del acuífero y del Río Loa.
- Aquaconsult, 2011. Ensayos Hidráulicos. Subcuenca Cluster Toki para Proyecto Quetena. Informe Final para Estudio de Impacto Ambiental (Revisión A). Incluye el desarrollo de Ensayos de Permeabilidad Puntual a Carga variable, Permeabilidad a Carga Constante y Pruebas LeFranc en 8 pozos. Desarrollado para la Corporación Nacional del Cobre de Chile CODELCO – CHILE.
- Aquaterra Ingenieros Ltda., 2011. Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica. Desarrollo de una metodología para la estimación de recarga en las cuencas del Altiplano o Puna, basada en una simplificación del proceso de recarga en ambientes áridos, en la que se incorporó un trabajo de ordenamiento y sistematización para la determinación de la precipitación para el área y la zonificación de ésta sobre la base de las

particularidades de la cuenca de drenaje. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación. S.I.T. N° 251.

- Consorcio Matraz Consultores-Universidad Politécnica de Cataluña, 2012. Estudio Acuífero de Calama, sector medio de la cuenca del Loa, Región de Antofagasta. Comprende una integración de toda la información hidrogeológica disponible del sector medio de la Cuenca del Loa, con el objetivo de elaborar un modelo conceptual del funcionamiento del sistema acuífero de Calama. Incluye un modelo hidrogeológico regional integrado de la cuenca de Calama, construido a partir de geología, hidrología e hidrogeología, y un modelo numérico de flujo preliminar. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación. S.I.T. N° 295.
- CODELCO, 2013. Informe Plan de Alerta Temprana (P.A.T.) del Sector Pampa Puno. Anexo A Habilitación y Estratigrafía de los Pozos. INF-HIDR-PP-2013. Comprende el desarrollo de Columnas Estratigráficas y de Habilitación de los Pozos Puno-1E, 2B, 2E, 4B, 5E, 6B, 7B, 8B, 9B, 10B, 10E, 11B, 11E, 314B, 13, 3EA, YOCA-03, YOCA-08, YOCA-09, YOCA-10, PASAP-1, PASAP-2 y PSAP-3.
- INGEOREC Anexo N° 2 Columnas Estratigráficas Pozos de Agua Pampa Puno. Comprende el desarrollo de Columnas Estratigráficas y de Habilitación de los Pozos Puno-1E, 2E, 3E, 4E, 2B, 5E, 4B, 6B, 7B, 8B, 9B, 314B y AR 314.
- Respuesta a Petición información - documentos Ley Transparencia, Nro. 49942, realizada a la Dirección General de Aguas, del 30/10/2013: Derechos de Aguas Subterránea entre las coordenadas UTM: Norte 7.678.957 y 7.447.981 Este 509.552 y 580. Por Orden del Director Regional Dirección General de Aguas Región de Antofagasta, Norberto Portillo Araya.

2.3 Geofísica

- Geodatos, 1985. Estudio Geofísico Cuenca Ojos de San Pedro - Inacaliri: Informe Resumen. Codelco - Chile División Chuquicamata. Constituye un resumen de trabajos geofísicos efectuados en la Cuenca Ojos de San Pedro - Inacaliri entre Abril y Septiembre de 1985, incluyendo estudios de resistividad mediante la configuración eléctrica Schlumberger o Sondaje Eléctrico Vertical, un estudio por refracción sísmica, perfiles gravimétricos, y un perfilaje con sondas de Radiación Gamma Natural, Temperatura y Resistividad de Fluidos de los sondajes existentes en el área.
- Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, 2003. Estudio Hidrogeológico y Modelo de Simulación Sector Estación Polapi, II Región. Informe Técnico para Solicitud de Concesión de Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas (Expediente ND-02-022185). Comprendió el desarrollo de 28 sondeos TEM, 25 de los cuales se ubicaron dentro del área de exploración distribuidos en 7 perfiles (L-0 a L-6), mientras que dos de los TEM ubicados fuera del área de exploración, corresponden a sondajes de exploración de agua PLE-1 y PLE-2, perforados por Codelco Chile entre los años 1994 y 1995, y ejecutados con el objeto de calibrar el método geofísico. Los sondeos TEM se llevaron a cabo utilizando un loop de 200 x 200 m, por el cual se transmitió una corriente de 4 amperes; en cada uno de los sondeos se midieron 3 set de datos para frecuencias de 2, 4 y 32 Hz. La campaña geofísica

fue realizada por la empresa Geodatos, bajo la coordinación y supervisión del DICTUC, entre el 13 y 18 de Diciembre de 1999.

- Jordan, T.E., 2006. Sismoestratigrafía de la Cuenca Calama (22°-23° LS), Chile. XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile. Páginas 53 a 56. Comprende un análisis sismoestratigráfico de cinco líneas sísmicas registradas por ENAP en la década de los 80 en la cuenca de Calama, II Región. Los datos sísmicos registrados corresponden a doble tiempo de tránsito de ondas de sonido. Las secuencias sismoestratigráficas fueron definidas siguiendo los criterios básicos de reconocimiento establecidos por Mitchum et al (1977). Las secuencias fueron además identificadas por sus caracteres sísmicos, especialmente la continuidad y amplitud de los reflectores. Se ilustran los rasgos de mayor importancia sismoestratigráfica en una de esas líneas, Z1F006. Asimismo, se presenta una síntesis paleogeográfica de la cuenca basada en el estudio de subsuelo, utilizando el resto de las líneas sísmicas que abarcan los sectores central norte, oriental y suroriental de la cuenca.
- Geodatos, 2011. Estudio Geofísico Transiente Electromagnético (TEM) Proyecto Quetena Sector Calama - II Región - Chile. Comprende el desarrollo de una campaña geofísica TEM en 161 estaciones distribuidas en 11 perfiles, interpretadas en función de la inversión 1D de los datos de resistividad. Incluye también la perforación de nueve pozos, habilitados en PVC de 3" de diámetro, Sch 80 y ranurado Slot 40. Corporación Nacional del Cobre de Chile CODELCO - CHILE.
- Consorcio Matraz Consultores-Universidad Politécnica de Cataluña, 2012. Estudio Acuífero de Calama, sector medio de la cuenca del Loa, Región de Antofagasta. Comprendió el desarrollo de aprox. 200 km de perfiles gravimétricos, considerando que cada estación gravimétrica debiese tener una separación máxima a lo más de 2 Km, con el objeto de levantar datos en los sectores con déficit de información, tal como en el sector oeste, sur y noreste del área de estudio.

3 SISTEMA HÍDRICO EN ESTUDIO

3.1 Medio Físico

3.1.1 Hidrografía

La Cuenca del Río Loa se ubica entre los paralelos 21° y 22°58' de Latitud Sur, y los meridianos 70°05' y 68° de Longitud Oeste, en la II Región de Antofagasta, cubriendo parcialmente el territorio de la Provincia de El Loa y de la Comuna de Calama (ver Figura 1). El Río Loa posee longitud de 440 kilómetros, y su hoya hidrográfica abarca una superficie de 33.570 km².

El régimen del Loa y sus afluentes es pluvial, captando recursos hidrológicos de la cordillera en un 20% de su superficie (Edwards, R., 1991). Debido a las bajas temperaturas que limitan el deshielo, se estima que no se verifica una recarga significativa durante el invierno.

El Río Loa nace en Ojos del Miño, en la falda norte del volcán Miño, a aproximadamente 5.651 m.s.n.m. Desde su nacimiento escurre en dirección sur por un profundo cañón, aproximadamente 150 km, hasta el oasis de Chiu-Chiu. En este trayecto recibe sus dos tributarios más importantes, ambos desde el Oriente: el Río San Pedro o Inacaliri y el Río Salado. A partir de Chiu-Chiu su curso se desvía hacia el Oeste hasta la localidad de Chacauce, donde se le une por su ribera derecha el Río San Salvador. Desde este punto su curso se orienta con dirección al Norte por un tramo de 80 km hasta el oasis de Quillagua. A partir de Quillagua, el Río Loa describe un gran arco y desemboca en el Pacífico en caleta Huelén (Edwards, R., 1991). El Río Loa llega al mar con un caudal cercano a 300 l/s (Edwards, R., 1991). El caudal medio del Río Loa es de 2,43 m³/s.

El Río Inacalari o San Pedro, con sus tributarios los ríos Siloli y Calama, drena una superficie de 1.087 km². Nace en la aguada de Inacalari en la alta cordillera, con el nombre de Inacaliri, y escurre hasta que sus aguas se pierden en las Vegas de Inacaliri, apareciendo luego el cauce seco por más de 15 km hasta la localidad de Ojos de San Pedro. En esta localidad aflora en el mismo cauce el Río San Pedro, el cual recorre 30 km hasta desembocar en el Río Loa.

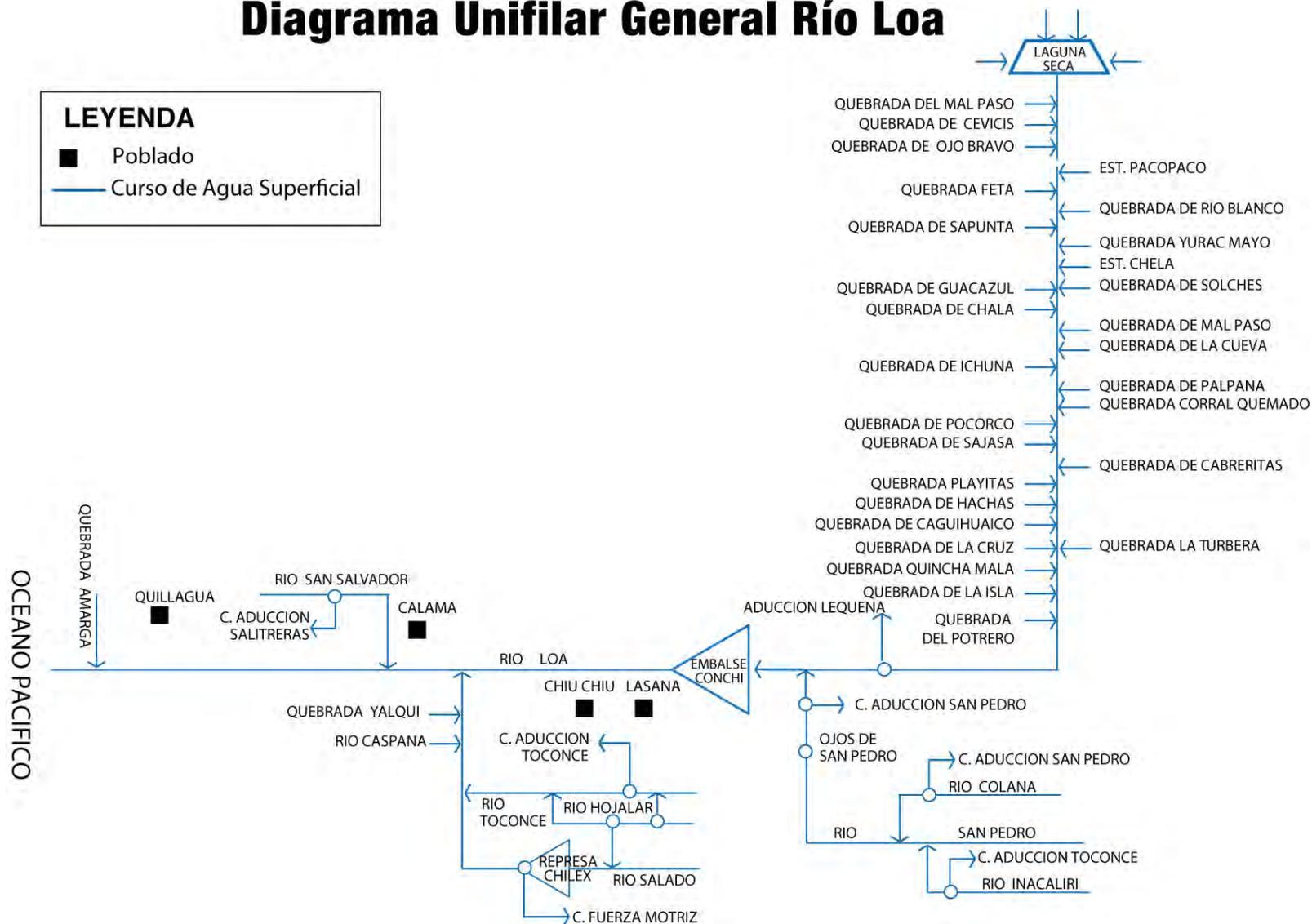
El Río Salado tiene sus orígenes en los Géiseres del Tatio, un conjunto de más de 30 vertientes frías y termales surgentes a los pies de la Cadena del Volcán Tatio, a aproximadamente 4.200 m.s.n.m. Después de un breve recorrido en dirección Norte-Sur, toma dirección al Oeste, hasta su desembocadura en el Río Loa, tres kilómetros aguas abajo de Chiu-Chiu. El Río Salado tiene un desarrollo de 80 km y su hoya hidrográfica comprende 2.210 km². En su curso medio recibe desde el norte al Río Toconce, reunido con el Río Hojalar, y, más abajo recibe por su costado izquierdo al Río Caspana.

El Río San Salvador nace de la reunión de varias quebradas con cabecera en el entorno norponiente de la ciudad de Calama. Después de un desarrollo de aproximadamente 25 km, se le reúne por su ribera izquierda la quebrada Opache, localidad que comúnmente se considera el verdadero nacimiento del río. Su recorrido hasta la junta con el Río Loa en Chacauce es de 56 km y su cuenca cubre 619 km².

El Diagrama Unifilar del Río Loa se detalla en la figura 2 a continuación

Figura 2 Diagrama Unifilar Río Loa (Edwards, R., 1991)

Diagrama Unifilar General Río Loa



3.1.2 Orografía

La Cuenca del Río Loa en el área de estudio se emplaza entre los 1.750 m.s.n.m. en la parte inferior (extremo occidental), hasta los 3.000 m.s.n.m. en la zona oriental. Se encuentra rodeada por cumbres de alrededor de 4.000 m.s.n.m.

3.1.3 Clima

El Área de Estudio exhibe los siguientes tipos de clima (Dirección Meteorológica de Chile, 2008):

- Clima desértico interior. Se presenta por sobre los 1.000 m.s.n.m. y se caracteriza por una masa de aire estable y seca que origina aridez y cielos despejados gran parte del año. Las precipitaciones anuales son de 0 mm y las temperaturas medias alcanzan los 18°C.
- Clima desértico marginal en altura. Se presenta por sobre los 2.000 m.s.n.m. y se caracteriza por una masa de aire inestable, que produce precipitaciones durante casi todos los veranos. Las temperaturas son frías.
- Clima de estepa de altura: predomina en el Altiplano, por sobre los 3.000 m.s.n.m. Se caracteriza por precipitaciones que alcanzan hasta 300 mm anuales, de carácter principalmente convectivo y origen tropical, las que ocurren durante el verano concentradas en los meses de Enero y Febrero, fenómeno conocido como el Invierno Boliviano o Invierno Altiplánico. Las precipitaciones de invierno son bajas, y mayoritariamente sólidas.

3.2 Medio Humano

Los principales centros poblados en la Cuenca del Río Loa son: Calama, Campamento Enaex, Caspana, Chiu-Chiu, Chuquicamata, Lasana, Conchi, Lequena (Edwards, R., 1991).

Las aguas del Río Loa son utilizadas para bebida, la industria, la minería y en el riego de cuatro oasis o valles que se encuentran en sus riberas, y en otros localizados en sus afluentes y subafluentes. Los regados directamente por el Loa son Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua. En su curso del Río Salado se verifica la presencia de extensas vegas, las que constituyen lugares de pastoreo para el ganado de los habitantes de Toconce, Caspana y Ayquina; las más conocidas de ellas son las Vegas de Turi y de Ayquina.

La Cuenca del Río Loa se encuentra regulada por el embalse Conchi, ubicado a aproximadamente 50 km al Oriente de Chuquicamata y a una altura de 3.000 m.s.n.m. Construido con fines múltiples, el embalse Conchi entró en funcionamiento en 1975, y posee una capacidad útil de 22 millones de m³.

3.3 División Administrativa

La Cuenca del Río Loa comprende las siguientes cuencas y subcuencas, de acuerdo a la clasificación de la dirección General de Aguas (Dirección General de Aguas, 1980):

Tabla 1 Cuencas y Subcuencas Río Loa (Dirección General de Aguas, 1980)

Nº Cuenca	Nombre
021	Río Loa
0210	Loa Alto (Bajo Junta R. Salado)
02100	R. Loa bajo junta E. Chela
02101	R. Loa entre E. Chela y bajo junta Q. de Hachas
02102	R. Loa entre Q. de Hachas y R. San Pedro
02103	R. San Pedro
02104	R. Loa entre R. San Pedro y R. Salado
02105	R. Salado
0211	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)
02110	R. Loa entre R. Salado y Calama
02111	Salar de Talabre
02112	R. Loa entre Calama y R. San Salvador
02113	R. San Salvador
02114	R. Loa entre R. San Salvador y Q. Seca
02115	Q. Raposa en junta Q. Seca
02116	Q. Seca entre Q. Raposa y R. Loa
0212	Pampa del Tamarugal (Exc. Salar de Llamara)
02120	Q. Chugchug
02121	Q. de Barrera
02122	Q. de Arcas
02123	Q. Tambillo o Seca
02124	Q. Tilpa
02125	Qs. de Sipuca, Piscola y de Man
02126	Qs. de Pintados y Guatacondo
0213	Loa Bajo (entre Q. Seca y Desembocadura)
02130	R. Loa entre Q. Seca y Q. Barrera (vertiente izquierda)
02131	R. Loa entre Q. Barrera y Q. Amarga (vertiente izquierda)
02132	Salar de Llamara y Q. Amarga
02133	R. Loa entre Q. Amarga y desembocadura

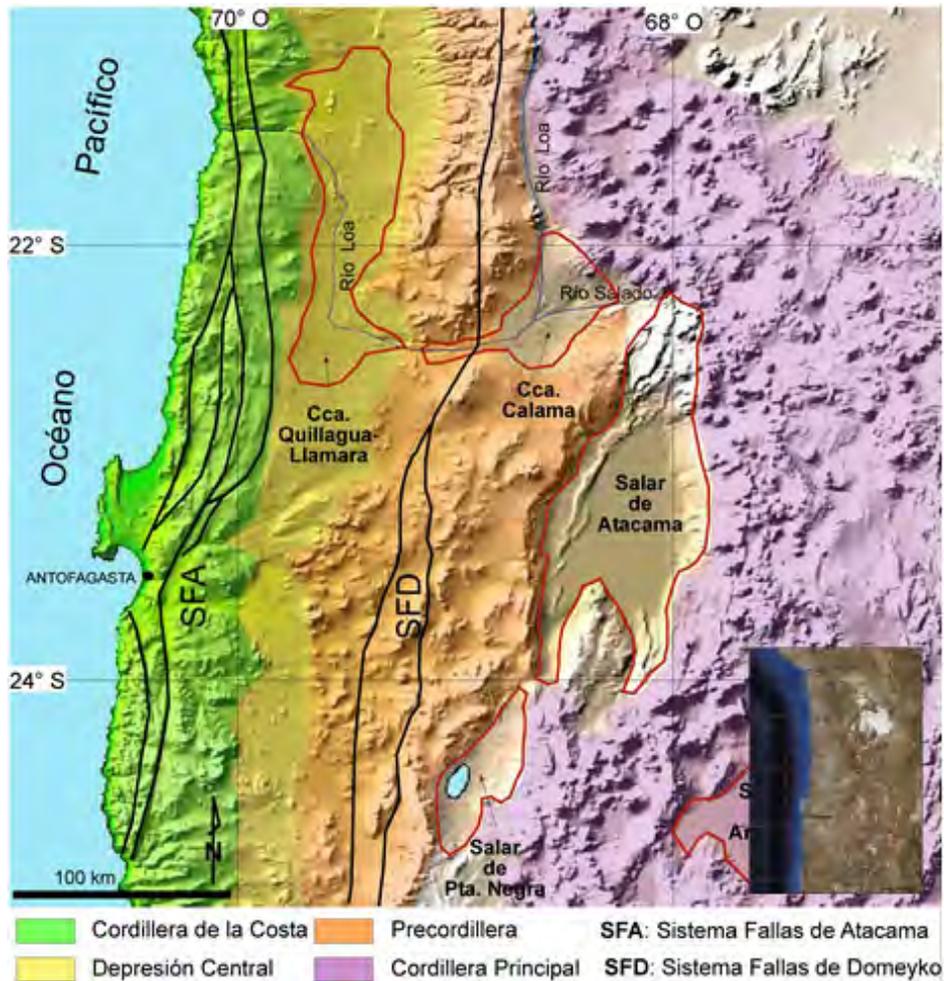
La cuenca del Río Loa se encuentra agotada por la Dirección General de Aguas para el otorgamiento de nuevos Derechos de Aprovechamiento Superficiales (FCAB, 2003).

4 GEOLOGÍA DEL ÁREA

4.1 Geología Regional

La Cuenca Cenozoica de Calama corresponde a una depresión de antearco situada en la parte septentrional de la Cordillera de Domeyko, entre la Precordillera y la Cordillera Principal de la región andina de Chile (ver Figura 3).

Figura 3 Contexto Geológico de la Cuenca Calama (Blanco, 2008)



La Cuenca Calama limita al Oriente, en el sector limítrofe entre Chile y Bolivia, con estratovolcanes e ignimbritas con escasa o nula deformación tectónica asociadas al Cordón Volcánico del Terciario Superior - Cuaternario (Zona Volcánica Central de Los Andes). Por el Poniente limita con rocas volcánicas (andesitas-riolitas) y cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas, de edad Carbonífero Superior - Pérmico, que constituyen la Sierra del Medio, correspondiente a la continuación septentrional de la Cordillera de Domeyko. Esta se caracteriza por presentar fallas transcurrentes de rumbo noroeste y norte-sur, incluyendo el Sistema de la Falla Oeste, la cual ha concentrado movimientos laterales mayores entre los bloques estructurales constituyentes de la Cordillera en la zona.

Resultados de estudios sismoestratigráficos consistentes en el análisis de cinco líneas sísmicas registradas por ENAP en la década de los 80 y que abarcan los sectores central norte, oriental y suroriental en la cuenca de Calama, junto con correlaciones con las unidades litoestratigráficas expuestas en superficie, siguiendo la continuidad de las capas hacia el subsuelo en el sector oriental de la cuenca, específicamente en las quebradas Yalqui y Yeso, indican que la paleotopografía actual difiere marcadamente de aquella durante el Cretácico al Eoceno, lo que sugiere que la morfología actual de la cuenca comenzó a desarrollarse en el Eoceno Medio, como consecuencia de la fase tectogénica Incaica (Jordan et al, 2006).

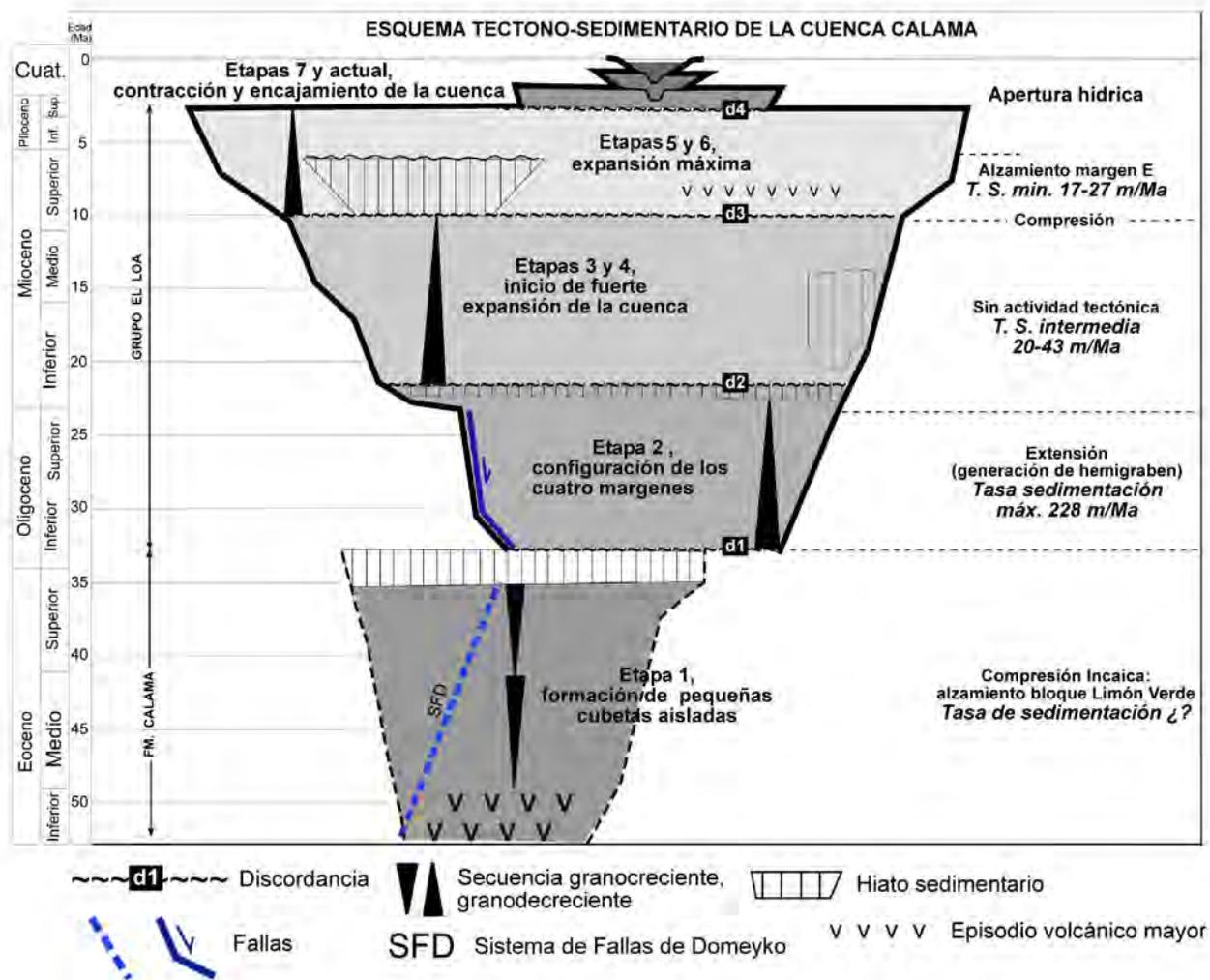
Así, la Cuenca de Calama se desarrolla en un sustrato de rocas volcánicas y plutónicas del Carbonífero Superior-Pérmico (Fm Collahuasi, Fm Tuina, Complejo Metaplutónico de cerros de Chuquicamata; Tomlinson y Blanco, 2008), sobre el cual se depositaron en la parte norte y este durante el Cretácico al Eoceno secuencias marinas y continentales, vinculados al espacio de acomodación de la cuenca cretácica de Purilactis (Estratos de Chuquicamata, Grupo Caracoles, Fm Quebrada Mala, Fm Cerritos Bayos, Fm Tolar; Tomlinson y Blanco, 2008)). En este sustrato cortical se emplazó el arco magmático del Eoceno-Oligoceno Inferior, con sus exponentes efusivos (Fm Icanche) y plutónicos (Complejo Granodiorítico El Abra, Complejo Intrusivo Chuquicamata; Tomlinson y Blanco, 2008).

La geología regional del área de estudio se detalla en la Lámina 1.

4.2 Evolución Tectono-Sedimentaria

La evolución tectono-sedimentaria de la Cuenca Calama exhibe episodios paleogeográficos principales, los que coinciden con cambios en el estilo de deformación dentro del ambiente tectónico regional del arco a antearco (Blanco, 2008). Estos se detallan en la Figura 4 y se describen a continuación:

Figura 4 Episodios Paleogeográficos Principales de la Cuenca Calama (Blanco, 2008)



4.2.1 Eoceno Medio al Eoceno Superior (ca. 42-35 Ma)

Se produce la fase tectogénica Incaica, consistente en un acortamiento perpendicular de los márgenes continentales y un movimiento transcurrente de margen paralelo en el sistema de Fallas Oeste. Comprende los siguientes tres eventos:

- Acortamiento en la dirección Este-Oeste en la Precordillera al norte de los Cerros de Chuquicamata (Eoceno Medio a Tardío),
- Formación de un sistema difuso de fallas transcurrentes dextrales, de rumbo N-S a NE, y estructuras asociadas de acortamiento (pliegues y fallas inversas), de rumbo NE-SO, de ligamento débil. El segmento en esta región del (SFD) registra desplazamientos de rumbo dextral (Tomlinson y Blanco, 1997). Localmente son posteriores a las estructuras de acortamiento E-O, y
- Movimiento sinistral y rotación en bloque a lo largo de la Falla Messabi, de cinemática dextral en los Cerros de Chuquicamata (Eoceno medio a tardío)

A lo largo de esta franja se emplazó un arco magmático, lo que facilitó el debilitamiento térmico de la corteza y la generación del Sistema de Fallas de Domeyko (SFD; Maksaev, 1990, Maksaev y Zentilli, 1999).

Como consecuencia de estos eventos, durante este período se produjo la exhumación de grandes bloques de basamento paleozoico y de unidades pre-eocenas (Maksaev y Zentilli, 1999, Tomlinson et al., 2001), lo que originó prominentes relieves y cuencas asociadas a estos bloques alzados (Arriagada et al., 2000, Blanco et al., 2003, Blanco y Tomlinson, 2009).

Entre los 52-47 Ma se verifica un episodio volcánico (Fm Calama), mientras que entre los 47 y ¿35? Ma se verifica una fase aluvial, acumulada en cubetas aisladas, con un depocentro mayor en el extremo SW de la cuenca Calama.

4.2.2 Oligoceno-Mioceno Inferior

Se produce un evento de desplazamiento transformante sinistral de gran magnitud en la Falla Oeste. La geometría general es la de dos cordones de acortamiento sobrepuestos con vergencias opuestas:

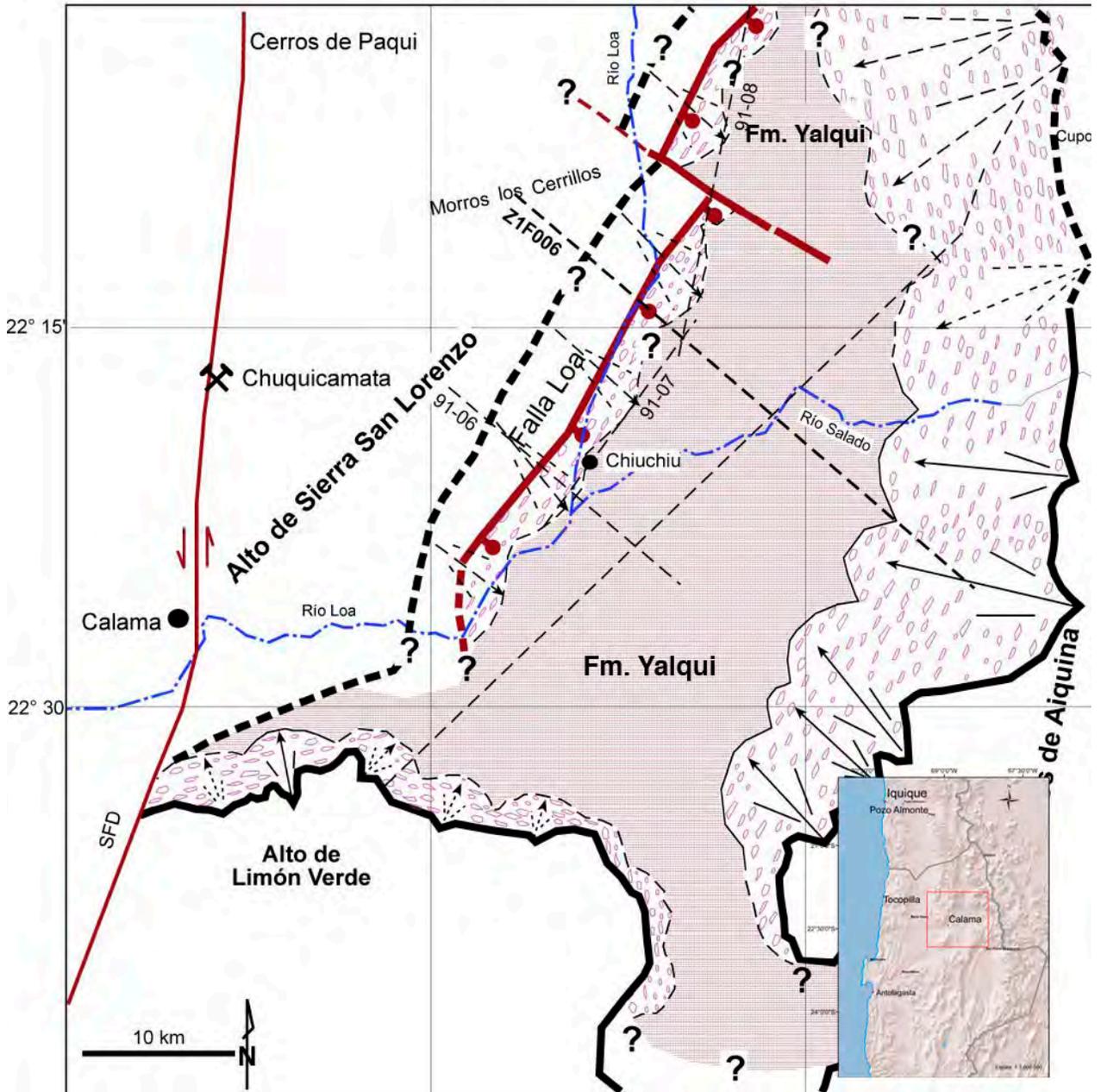
- un primer cordón se compone de las fallas inversas Chalco, Yocas, Chirigua y El Cucho; este se dirige hacia el oeste. Se presenta en los sectores norte y central del área de estudio
- un segundo cordón se compone de las fallas inversas Arca, Jaspe, Las Rabones y Quetena, junto con diversas fallas inversas más pequeñas de Sierra de Moreno y en los cuadrángulos Chitigua y Cerro Jaspe; este se dirige hacia el este. Se presenta en los sectores centro y sur del área.

A excepción de erupciones piroclásticas de reducida extensión, el volcanismo se encuentra casi ausente (Blanco y Tomlinson, 2009).

Se generó una estructura extensional o transtensional de orientación NNE-SSW (Falla Loa), con su bloque yacente situado al E (Jordan et al., 2006; ver Figura 5). Dicha

estructura generó una cuenca tipo hemigraben, con un depocentro de sedimentación aluvial de aproximadamente 1.500 m (Pananont et al., 2004; Jordan et al., 2006).

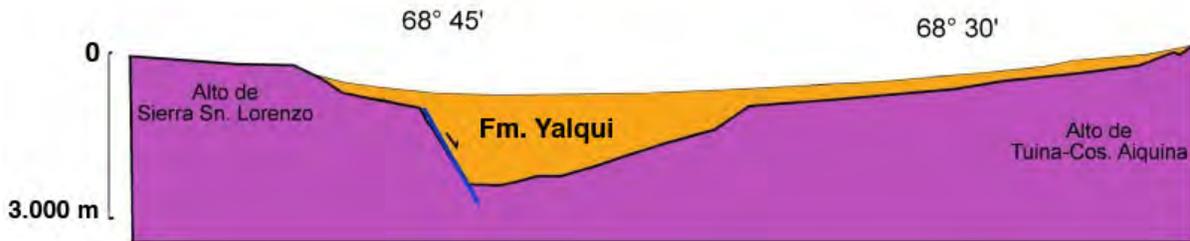
Figura 5 Sistema de Hemigraben originado por la Falla Loa (Blanco, 2008)



De este modo, se configuró la cuenca con un margen oriental denominado Alto de Tuina-Cerros de Aiquina, uno occidental llamado Alto de Sierra San Lorenzo, y un límite sur constituido por el Alto Sierra Limón Verde; por el norte no parece extenderse más allá de

los 22°S, como lo evidencia la drástica reducción de espesores interpretados de la línea sísmica 91-08 (Jordan et al., 2006).

Figura 6 Perfil Este Oeste de la Cuenca Calama (Blanco, 2008)



Este relieve configura una cuenca hidrográfica, endorreica (Blanco, 2008). En el margen occidental se habrían desarrollado sistemas de abanicos aluviales de baja eficiencia, mientras que el margen oriental tendría un relieve menos pronunciado, favoreciendo el desarrollo de sistemas aluviales de alta eficiencia que onlapan el sustrato (Blanco, 2008). El centro de la cuenca estuvo ocupado por depósitos distales finos de los tres sistemas aluviales.

La tasa de sedimentación es la más elevada de toda la evolución de la cuenca. En este período se deposita la Fm Yalqui, formada por brechas sedimentarias macizas café rojizas de grano medio (0,5-5 cm), conglomerados finos, areniscas gruesas guijarrosas, limolitas guijarrosas, areniscas limosas de guijarro, limolitas y arcillolitas laminadas, y conglomerados grueso de clastos redondeados y estratificación en artesa (Blanco, 2008).

El evento extensional acontecido en este período parece haber tenido un carácter regional, por cuanto una cuenca similar se desarrolló en la zona del Salar de Atacama (Pananont et al., 2004). Ambas cuencas se encuentran separadas por el cordón Cerros de Tuina-Cerros de Aiquina.

Durante la extensión, el segmento del SFD situado al occidente de la cuenca Calama registró desplazamiento de rumbo sinistral (Tomlinson y Blanco, 1997b).

4.2.3 Mioceno Inferior a Superior bajo (ca. 10 Ma)

Debido a procesos asociados a la corteza inferior (flujo cortical inferior) o el manto superior (delaminación tectónica), sin la participación de fallas o plegamiento, durante esta etapa se produjo un alzamiento regional del *plateau* central de los Andes (18,5°- 22° S), estimándose un incremento de relieve de *ca.* 1 km (Hoke et al., 2007).

Las deformaciones son de pequeña magnitud, con reactivaciones menores del SFD; no obstante, en algunos sectores (Sierra de Moreno), se registra la reactivación de fallas eocenas que producen una discordancia angular local entre depósitos aluviales de 25 y 6 Ma (Tomlinson et al., 2001). Se inicia la expansión de la cuenca por erosión de sus bordes, con escasa o nula actividad tectónica. Las tasas de sedimentación son de 20-27 m/Ma en los márgenes, y de 43 m/Ma en el centro de la Cuenca (Fms El Yeso, Jalquinche y Lasana) (Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).

Las unidades depositacionales son las siguientes, de más antigua a más nueva:

- **Formación El Yeso:** secuencia grano-decreciente de brechas, areniscas, y una sucesión de limonitas y yeso masivo, con intercalaciones subordinadas de tobas. Las paleocorrientes están dirigidas hacia el W (N96°W) (Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009),
- **Formación Jalquinche:** areniscas de grano fino a medio, limolitas macizas o pobremente laminadas, arcillolitas y ocasionales cuerpos canalizados de areniscas de guijarro (May et al., 2005; Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009), y
- **Formación Lasana:** conglomerados y areniscas gruesas gris oscuras y, subordinadamente, limolitas rosadas. Se agrupan en secuencias granodecrecientes de 0,6-1,3 m de espesor, con conglomerados en la base, areniscas en la posición intermedia y limolitas en la parte superior (Blanco, 2008). Mediciones de paleocorrientes indican flujos dirigidos hacia el S13-40°W, con un promedio general hacia S33°W (Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).

Se inicia el volcanismo extensivo en la franja oriental, caracterizado tanto por el emplazamiento de edificios volcánicos como por la emisión de grandes flujos piroclásticos asociados a generación de calderas (ignimbritas Artola, Pelón, Carcote, Puripicar, entre otras; Ramírez y Gardeweg, 1982, Marinovic y Lahsen, 1984).

4.2.4 Mioceno Superior al Plioceno

Se produce un desplazamiento dextral de pequeña magnitud en el segmento El Abra-Calama de la Falla Oeste, y un desplazamiento de desgarre de menor magnitud en fallas de otros lugares.

Se produce la expansión máxima de la cuenca, con tasas de sedimentación entre 17 a 27 m/Ma, formando depósitos aluviales. Las unidades depositacionales son, de más antigua a más nueva:

- **Formación Chiquinaputo:** conglomerados medios y finos, areniscas finas a medias, grises y marrón claro, tobas ignimbríticas, tufitas, limolitas rosadas y, en forma subordinada, diatomitas y travertinos (Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).
- **Formación Opache:** conjunto de conglomerados, areniscas cementadas por carbonato y calizas, y, en forma subordinada, margas diatomíticas. Cubren concordantemente a la Ignimbrita Carcote y a la Formación Chiquinaputo que en parte engrana lateralmente con ella, y subyacen en discordancia angular a la Formación Chiuchiu. El espesor es muy variable, desde 5 a 65 m, dado que su techo constituye la actual superficie de erosión (May et al., 2005; Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).

Se registra un intenso volcanismo de arco localizado al oriente de la cuenca (Ignimbrita Sifón).

Se configura una red hidrológica similar a la actual, en la que dos cauces fluviales convergen al centro de la cuenca.

4.2.5 Plioceno-Pleistoceno

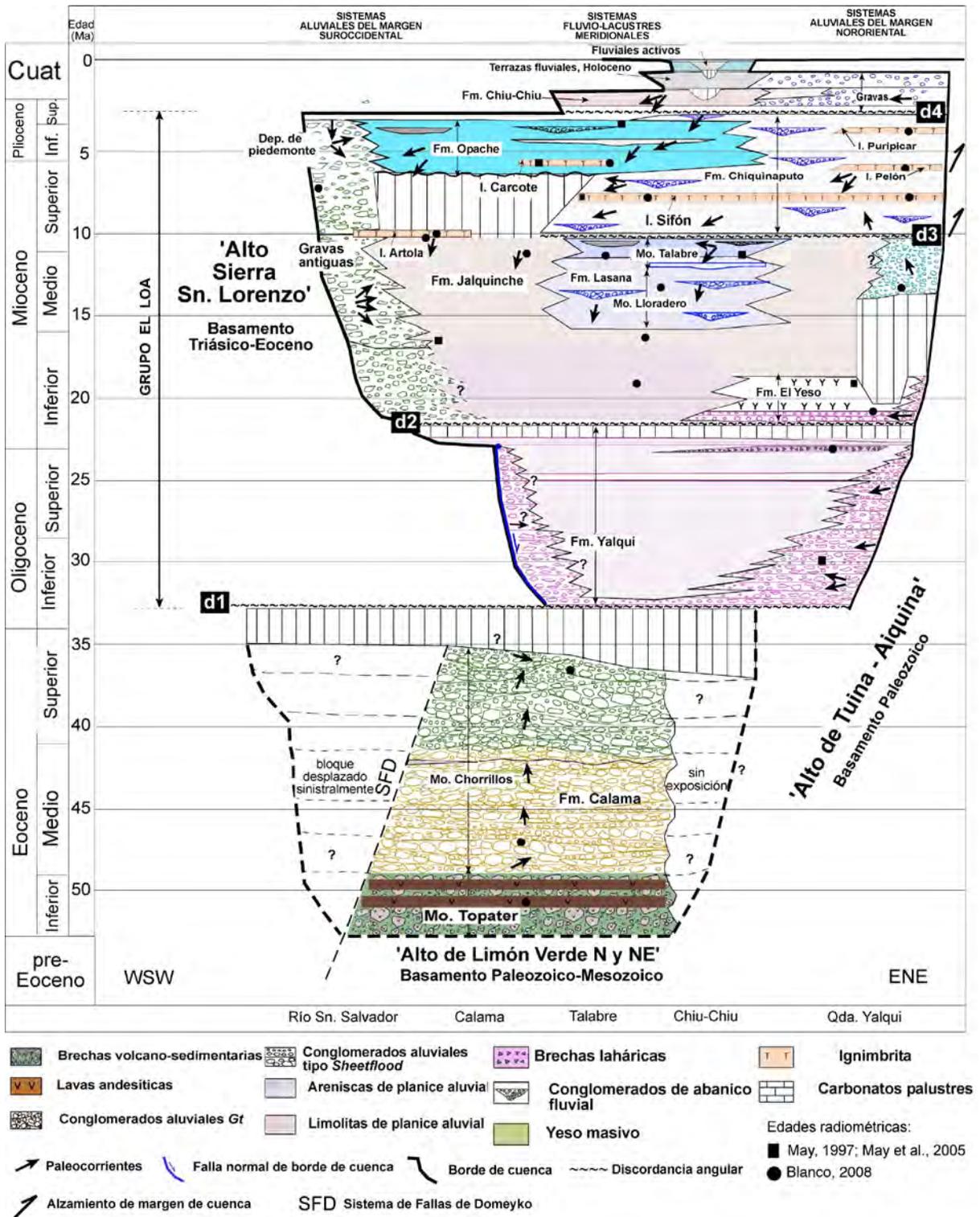
Inducida por una flexura monoclinal que restringe considerablemente el espacio de sedimentación, durante este período se produce una fuerte contracción de los márgenes de la cuenca. Las unidades depositacionales son:

- **Formación Chichiu:** está formada por depósitos de gravas medianamente consolidadas, areniscas laminadas, diatomitas, travertinos y cenizas volcánicas re-trabajadas, que afloran en los alrededores de la localidad de Chiu-Chiu. Sobreyacen con leve discordancia a la Formación El Loa, y está parcialmente cubierta por sedimentos fluviales holocenos del río Loa, sedimentos aluviales recientes y depósitos salinos de los Salares Rudolph y Brinkerhoff. Posee una potencia variable desde escasos metros hasta un máximo de 50 m.

En este lapso se produce una reorganización hídrica mayor en la cuenca Calama, incluyendo la apertura hidrológica hacia la Cuenca de Quillagua, adquiriendo de este modo un carácter exorreico hasta el presente (Blanco, 2008; Houston et al, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009). Posteriormente, el descenso del nivel de base provoca el encajamiento del sistema fluvial, la formación de terrazas y un proceso de abarrancamiento o erosión de las unidades previas.

La evolución crono-estratigráfica del Terciario de la Cuenca de Calama se detalla en la Figura 7 a continuación:

Figura 7 Crono-estratigrafía de la Cuenca Calama en el Terciario (Blanco, 2008)



4.2.6 Cuaternario

Las unidades aluviales cuaternarias corresponden a depósitos de gravas y ripios polimícticos, mal seleccionados y subangulares a redondeados, con matriz de arena, limo y arcilla. Afloran en el fondo de quebradas mayores y en drenajes menores que disectan piedemontes del Plioceno-Pleistoceno, originados por corrientes torrenciales esporádicas. Otros depósitos aluviales existentes son aquellos de abanicos aluviales asociados a la degradación del cordón volcánico Neógeno-Cuaternario; estos comprenden depósitos de corrientes torrenciales derivados de la erosión de los edificios volcánicos y las zonas de alteración solfatáricas asociados a éstos.

Los depósitos salinos corresponden a depósitos formados en cuencas con drenaje interno o endorreico. Consisten en eflorescencias superficiales de halita, sulfatos cálcicos y magnésicos, costras subsuperficiales de sulfatos, cloruros y carbonatos de Na y Ca, limos y arenas con cemento salino, y mantos de diatomitas. Cabe destacar que los salares de El Indio y Talabre han sido utilizados como tranques de relave de la mina de Chuquicamata.

Los depósitos fluviales se encuentran estrechamente ligados a los cursos de agua de los ríos San Salvador, Salado y Loa. Corresponden a gravas, arenas y limos no consolidados, depositados como terrazas de inundación, barras de punta o longitudinales. La mayor parte de estos depósitos han sido utilizados como zonas de cultivo en las localidades de Calama, Chiu-Chiu y Lasana.

4.3 Geología Estructural

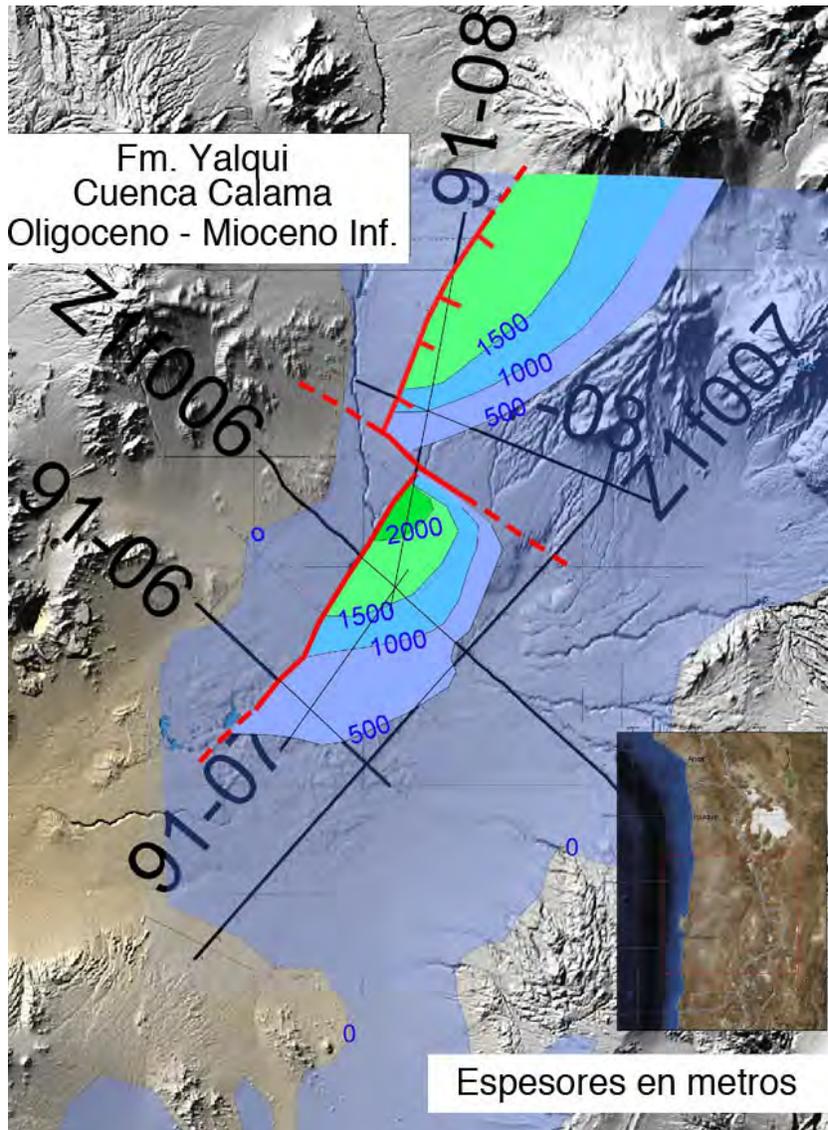
El área de estudio se encuentra afectada por el Sistema de Fallas de Domeyko (SFD), una zona de cizalla maestra activa durante el Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior. Esta ha concentrado movimientos laterales mayores, tanto dextrales como sinestrales (Tomlinson et al., 2001).

4.4 Geometría Interna de la Cuenca

Resultados de estudios sismoestratigráficos consistentes en el análisis de cinco líneas sísmicas registradas por ENAP en la década de los 80 y que abarcan los sectores central norte, oriental y suroriental en la cuenca de Calama (Jordan et al, 2006), junto con correlaciones con las unidades litoestratigráficas expuestas en superficie, siguiendo la continuidad de las capas hacia el subsuelo en el sector oriental de la cuenca, específicamente en las quebradas Yalqui y Yeso, indican que en el sur de la cuenca, durante el Eoceno, se localizó un depocentro que se habría originado en parte durante la fase compresiva Incaica (Blanco et al., 2003).

Las variaciones en espesor de los conglomerados y limolitas de la Fm Yalqui, (Oligoceno-Mioceno Inferior) permiten definir dos depocentros: uno en el sector central y otro en el sector norte; en el primero esta unidad alcanza aproximadamente los 2.500 metros de espesor (ver Figura 8).

Figura 8 Depocentros de la Cuenca Calama (Jordan et al., 2006)



Estos dos depocentros están controlados por un sistema de hemigrábenes, limitados al oeste por fallas normales o transtensionales (Falla Loa), de orientación NNE-SSW, y una falla de transferencia de orientación NW-SE que los desplaza en sentido sinistral (ver Figura 6).

En el margen oriental de la cuenca los espesores sólo alcanzan magnitudes de decenas a cientos de metros.

La geometría interna de la cuenca, el espesor de su relleno y las estructuras involucradas en la generación de ésta se reseña en las Figuras 9 y 10 a continuación. La ubicación de la traza de las secciones se señala en la Lámina 2.

Figura 9 Corte Geológico Línea Sísmica Z1F006 (Blanco y Tomlinson, 2009)

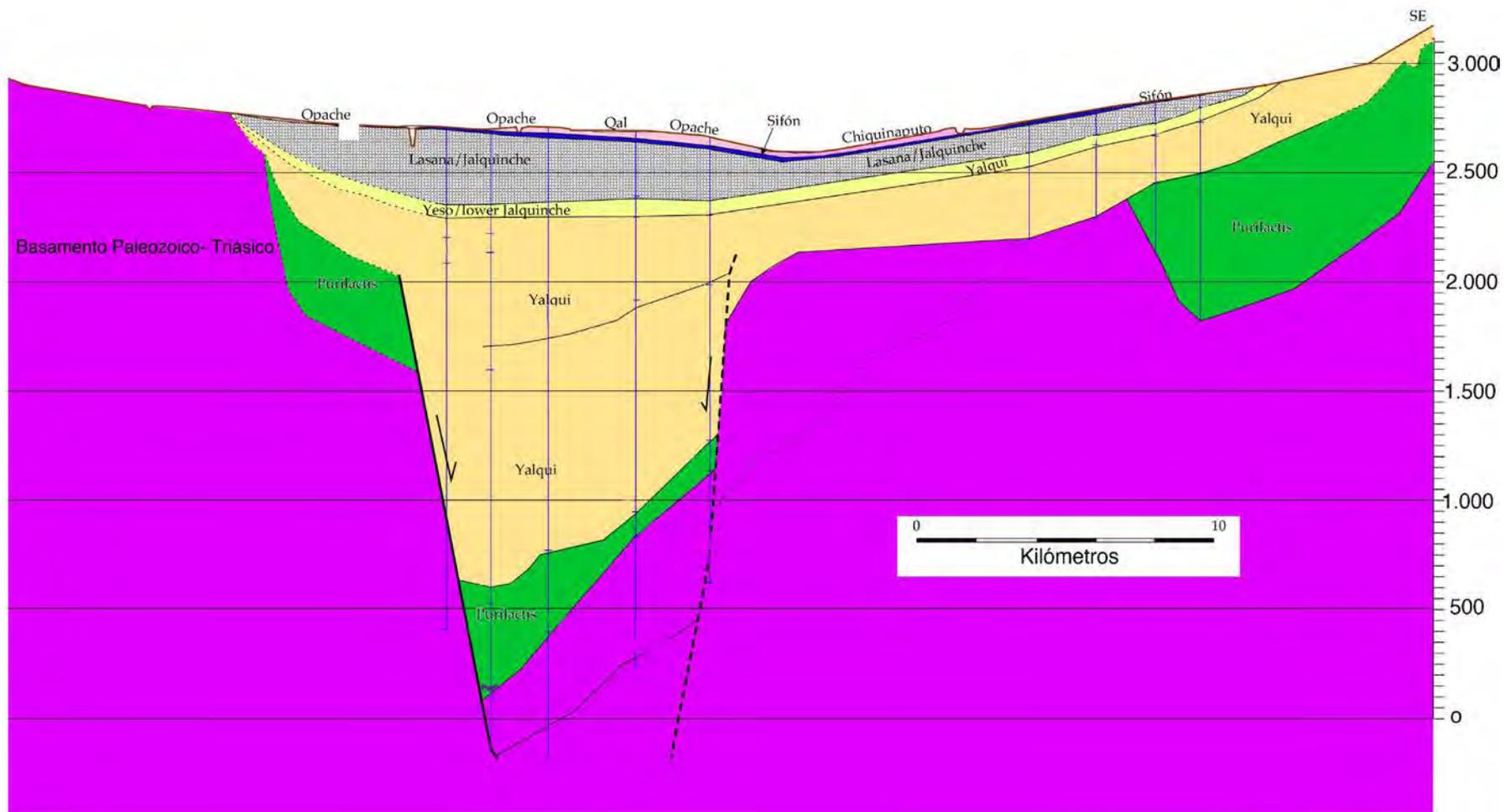
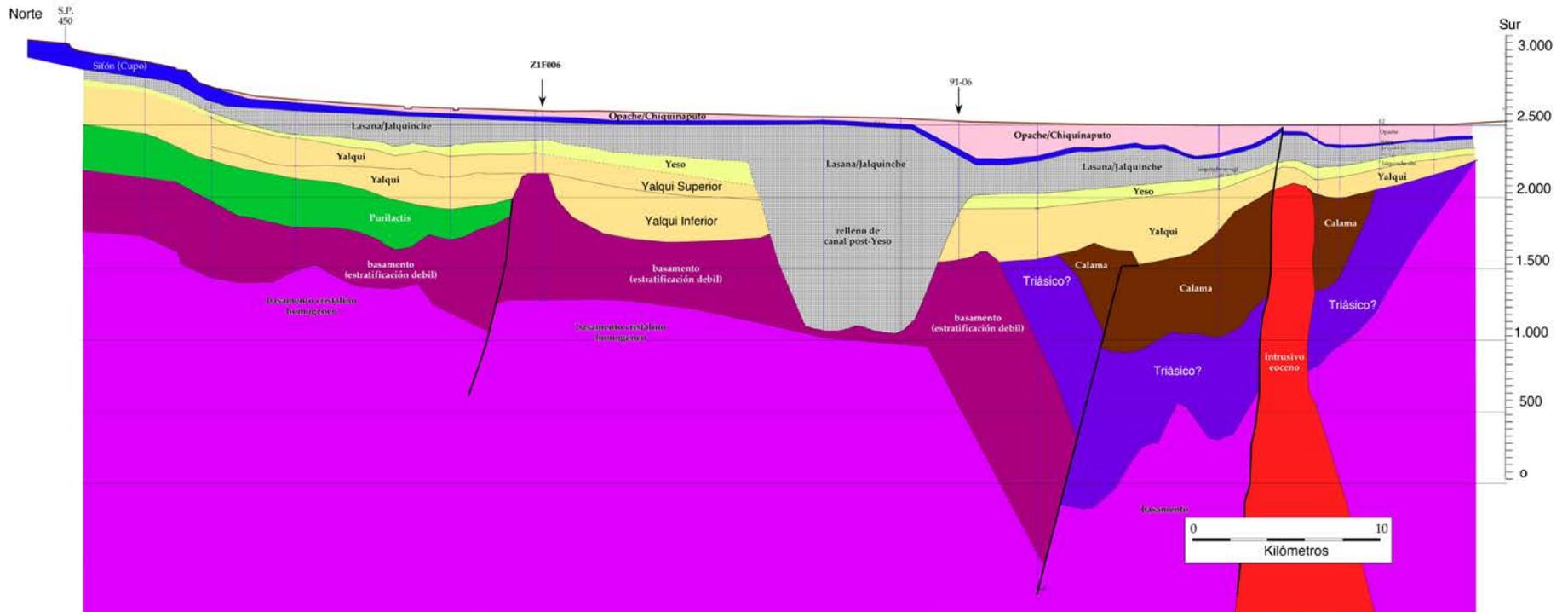


Figura 10 Corte Geológico Línea Sísmica Z1F007 (Blanco y Tomlinson, 2009)



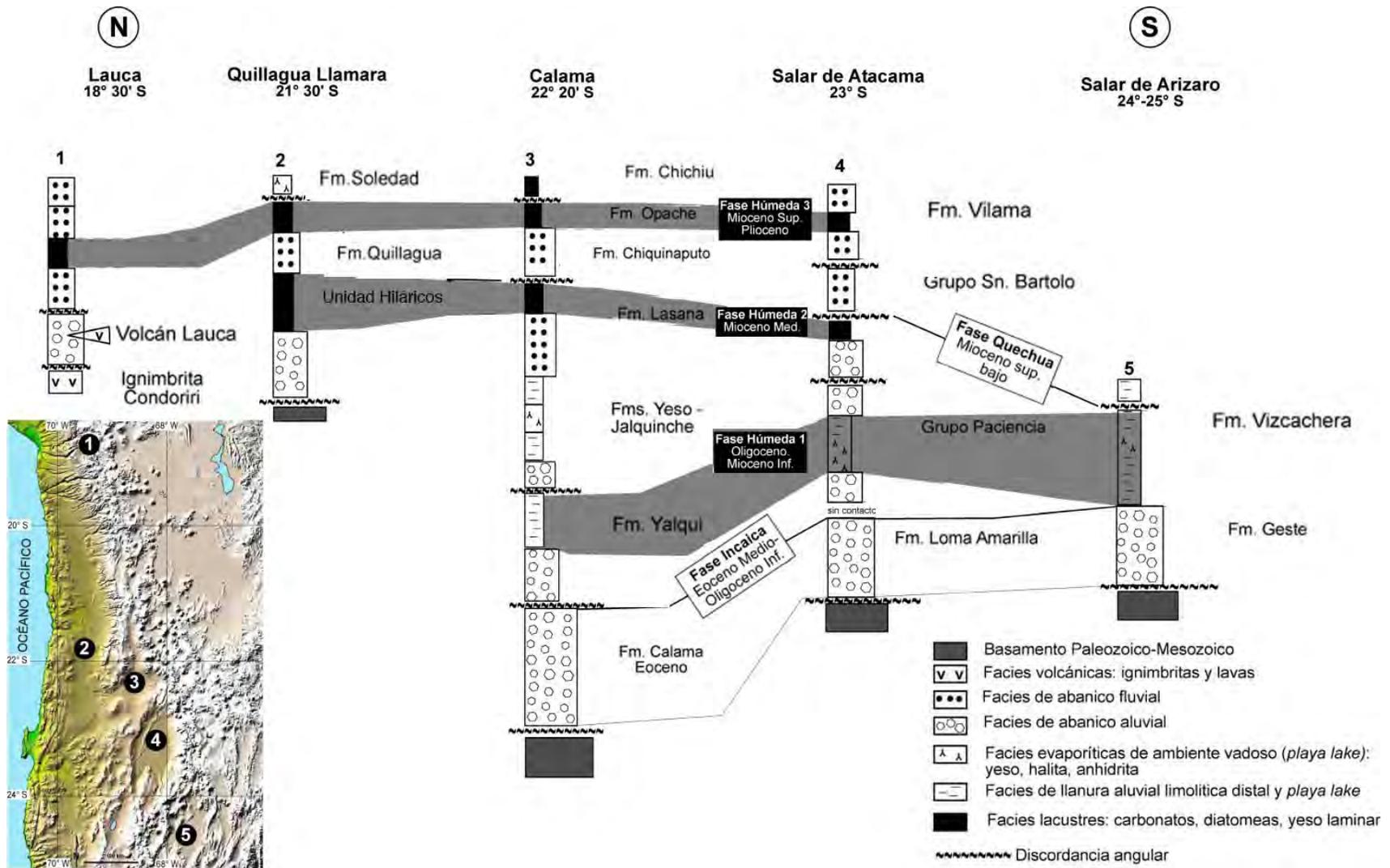
4.5 Evolución Paleoclimática

El análisis de las secuencias sedimentarias que rellenan la cuenca permite identificar tres periodos o fases paleoclimáticas con desarrollo de condiciones lacustres de clima relativamente húmedo:

- en el Oligoceno-Mioceno Inferior, dominada por ambientes lacustres efímeros y evaporíticos (*playa lake*) (Fm. Yalqui),
- en el Mioceno Medio (insuficientemente definida), con abanicos fluviales que terminan en lagos someros y efímeros o lagunas inter canales o inter lóbulos terminales de abanico fluvial (Fm. Lasana), y
- durante el Mioceno Superior-Plioceno, con ambientes de abanico fluvial con lagunas temporales localizadas entre canales o lóbulos terminales de canales, con sedimentación y cementación carbonática predominante y diatomítica subordinada (Fm. Opache).

Estos períodos húmedos se correlacionan con eventos similares en otras cuencas de edad Cenozoica de los Andes Centrales (Blanco, 2008), tal como se reseña en la Figura 11 a continuación:

Figura 11 Correlación de eventos paleolacustres en cuencas cenozoicas de los Andes Centrales (Blanco, 2008)



5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Hidrogeología Regional

La Cuenca Calama se ubica en la Región Hidrogeológica Altiplano, localizada al oriente de la parte alta de la Cordillera de Los Andes (Dirección General de Aguas, 2009):

5.2 Hidrogeología Local

Resultados de la recopilación de información indican que en el área de estudio se dispone de información, producto de exploración hidrogeológica, en las siguientes zonas (ver lámina 2):

5.2.1 Pampa Puno (Ingeorec, 2001)

5.2.1.1 Ubicación

Esta zona se ubica en las cercanías del extremo Norte de la Cuenca, entre las coordenadas UTM N 7.655.000 y 7.630.000, y E 515.000 y 523.000 aproximadamente (datum WGS84).

El área se encuentra comprendida dentro de la hoya hidrográfica de la quebrada Sapunta. Esta nace con un sentido de escurrimiento de sur a norte, y próximo al cerro Sapunta toma un sentido hacia el este, hacia el río Loa. El escurrimiento es esporádico y sólo se verifica con ocasión de precipitaciones de magnitud.

La cuenca de Pampa Puno tiene una extensión de 112,7 km², y se encuentra rodeada por alturas que fluctúan entre los 4.000 y 4.550 m.s.n.m.

5.2.1.2 Unidades Hidrogeológicas

Los resultados de la revisión de la estratigrafía y habilitación de 23 pozos de extracción en este sector indican la existencia de las siguientes Unidades Hidrogeológicas, en posición estratigráfica de más alta a más baja (Ingeorec, 2001):

5.2.1.2.1 Unidad N° 1- Ignimbritas del Mioceno

Corresponde a depósitos piroclásticos dacíticos a riolíticos fracturados, y está compuesta principalmente por tobas de ceniza color blanco lechoso, en sectores rojizo. Se correlaciona con la unidad Ignimbritas del Mioceno, asociada a estratovolcanes del Mioceno Superior.

Se extiende a lo largo y ancho de la cuenca, presentando espesores entre 6 y 44 metros. Al Norte de Pampa Yocas está cubierta por aluvio del Cuaternario con potencias que varían desde 6 a 9 metros. Hacia el Sur esta unidad se acuña.

Presenta una porosidad secundaria originada por fracturamiento.

5.2.1.2.2 Unidad N° 2 - Sedimentaria

Corresponde a material detrítico sedimentario compuesto principalmente por gravas de tonalidades rojas y anaranjadas, poco compactadas y de estratificación gruesa, con frecuentes intercalaciones de niveles limo-arenosos. Se asocia a depósitos fluvioaluviales del Cuaternario y a gravas del Terciario (Formación Papajoy).

Se extiende en forma significativa en casi en toda el área, acuñándose hacia la quebrada Sapunta, donde desaparece. El espesor es variable, con una potencia promedio de 350 metros y un espesor máximo, en la parte central de la cuenca, cercano a los 700 metros.

En esta unidad se emplaza el acuífero.

5.2.1.2.3 Unidad N° 3 — Roca de Basamento

Está formada por lavas, tobas y brechas pertenecientes a las formaciones Cerro Empexa (Cretácico Superior — Paleoceno) e Icanche (Eoceno Inferior a Medio), areniscas grises con intercalaciones de conglomerados (occidente de la cuenca), lavas y tobas cristalinas dacíticas —riolíticas e intrusivos subvolcánicos de similar composición asociados a la Fm Collahuasi (Paleozoico) que conforman las laderas y la base de la cuenca.

Corresponde al basamento impermeable de la cuenca.

5.2.1.3 Elevación Superficie Freática

Resultados de la medición de niveles en pozos en el sitio, indican que la superficie freática se encuentra a una profundidad entre 45 y 100 m aproximadamente, equivalentes a una elevación entre 3.940 y 4.146 m.s.n.m. (Ingeorec, 2001, ver Tabla 2).

Tabla 2 Nivel Estático Pozos Pampa Puno (Ingeorec, 2001)

POZO	PROFUNDIDAD AGUA (m)	ELEVACION NIVEL ESTATICO (m.s.n.m.m)
PUNO 1E	96,87	4.044
PUNO 2B	74,12	4.043
PUNO 2E	74,89	4.044
PUNO 3E	50,08	4.040
PUNO 4B	67,68	4.030
PUNO 4E	68,2	4.033
PUNO 5E	87,81	4.056
PUNO 6B	54,17	4.044
PUNO 7B	58,68	4.043
PUNO 8B	47,67	4.031
PUNO 9B	109,83	4.032
PUNO 314 B	54,96	4.146
YOC-8	85	3.986
YOC-9	97.5	3.962
YOC-10	110	3.940

La superficie freática se indica en las Láminas 2 y 3.

5.2.1.4 Parámetros Hidráulicos

Resultados de pruebas de bombeo realizadas en 9 pozos, analizadas utilizando el método de Jacob para abatimiento y recuperación en todas las pruebas, indican que la transmisividad en la zona central de la cuenca se encuentra entre 200 a 1.000 m²/día (ver Tabla 3).

Tabla 3 Parámetros Hidráulicos Pozos Pampa Puno (Ingeorec, 2001)

POZO	FECHA	CAUDAL BOMBEO (l/s)	POZO OBSERVACION		NIVEL ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	TRANSMISIVIDAD	
			Nombre	Distancia (m)			Jacob (m ² /día)	Recuperación (m ² /día)
2B	oct-98	12	2B		74,5	91,2	80	130
			2E	61,9	74,9	76,6	270	220
	oct-98	18	2B		75,7	98,6	85	
			2E	61,9	75,2	76,7	300	670
	mar-99	35	2B		74,1	141,4	60	93
			2E	61,9	73,2	75,6	370	600
4B	ene-99	60	4B		67,9	91,5	180	500
	may-99	110	4B		66,9	114,4	190	
			4E	54,9	68,2	69,3	7500	
6B	feb-99	50	6B		56,7	116,9	80	90
			4B	2338	67,5	67,6	5600	
			7B	1368	56,2	58,5	340	420
7B	feb-99	50	7B		56,7	105,3	47	460
			6B	1368	54,2	56	380	1100
8B	mar-99	8,5	8B		47,1	67,5	12	
9B	abr-99	50	9B		109,9	149,7	30	250
10B	abr-00	30	10B		74,6	118,6	85	
11B	may-00	60	11B		77	144,5	27	
314B	sep-98	5	314B		54,9	96	3	7
	jul-99	5	314B		54,9	136,3	2	

Los bajos valores de transmisividad en el pozo 314B se deberían a que la zona donde se ubica este pozo se encuentra en la ladera oeste del valle, a una cota superior con respecto a los otros pozos.

5.2.1.5 Recarga, Dirección de Flujo y Descarga

La recarga del acuífero se asocia principalmente a infiltración de precipitaciones nivales y pluviales. La precipitación efectiva media anual es de 97 mm/año (Ingeorec, 2001).

La dirección de flujo es desde las zonas apicales ubicadas al oeste de la cuenca hacia el norte y oriente de la cuenca. La descarga se produce hacia el sector de Pampa Yocas.

5.2.1.6 Volumen Embalsado

El volumen embalsado, estimado mediante el producto del volumen comprendido entre la superficie freática y el basamento y la porosidad eficaz del acuífero (equivalente al coeficiente de almacenamiento para los acuíferos libres), y haciendo el supuesto de un coeficiente de almacenamiento de 10%, es

$$V_{alm} = 2,40 * 10^6 \text{ m}^3$$

5.2.2 Polapi (FCAB, 2003)

5.2.2.1 Ubicación

Se ubica entre las coordenadas UTM N 7.590.000 y 7.600.000, y E 550.000 y 560.000 aproximadamente (datum WGS84).

5.2.2.2 Unidades Hidrogeológicas

Resultados de prospecciones geofísicas realizados para exploración de aguas subterráneas, así como también de descripciones estratigráficas obtenidas de pozos construidos en el área de exploración (FCAB, 2003), indican la existencia de las siguientes Unidades Hidrogeológicas, desde arriba hacia abajo:

5.2.2.2.1 Unidad I

Se emplaza en arenas y gravas con matriz limo-arenosa, no consolidadas, sin compactación ni cementación. Estas se asocian a depósitos aluviales, fluvioaluviales, glaciales y piroclásticos, los que sobreyacen a rocas volcánicas y volcanoclásticas. Aparece rellenando las quebradas, llanuras y pampas. El espesor varía entre 20 y 100 m.

Debido a su escaso desarrollo no permite almacenamiento de agua subterránea de importancia, por lo que no representa un acuífero de importancia. Es probable que parte del agua que se infiltra por esta unidad se acumule en su base, formando lentes de agua en donde se encuentre sobre roca de baja a nula permeabilidad o donde la morfología del contacto beneficie la disminución de la gradiente hidráulica.

5.2.2.2.2 Unidad II

Está conformada por coladas de lavas principalmente andesíticas, de tipo columnar, asociadas a estrato-volcanes. El espesor pueden sobrepasar los 400 m en las partes altas.

Presenta un intenso fracturamiento, el que origina que en superficie aflore como bloques y fragmentos disgregados, sin matriz. Este fracturamiento permite infiltrar agua hacia su base o hacia unidades inferiores.

5.2.2.2.3 Unidad III

Corresponde a tobas riolíticas y dacíticas mediana a fuertemente consolidadas, las que subyacen a la Unidad I en la parte baja, y la unidad II en la parte alta. Presenta potencias reconocidas entre 150 y 200 m, acuñaándose y desapareciendo al acercarse a los centros volcánicos.

Esta unidad se comporta como un estrato semiconfinante, el que desconecta la Unidad IV (acuífero principal), de las Unidades I y II.

5.2.2.2.4 Unidad IV

Corresponde a arenas gruesas y gravas con matriz arenosa, mediana a pobremente consolidadas, asociadas a la unidad Depósitos Aluviales Antiguos. Se presenta en forma continua en toda esta zona, encontrándose por lo general por debajo de los 150 metros de profundidad. Presenta un espesor promedio de 200 m, alcanzando hasta 300 m.

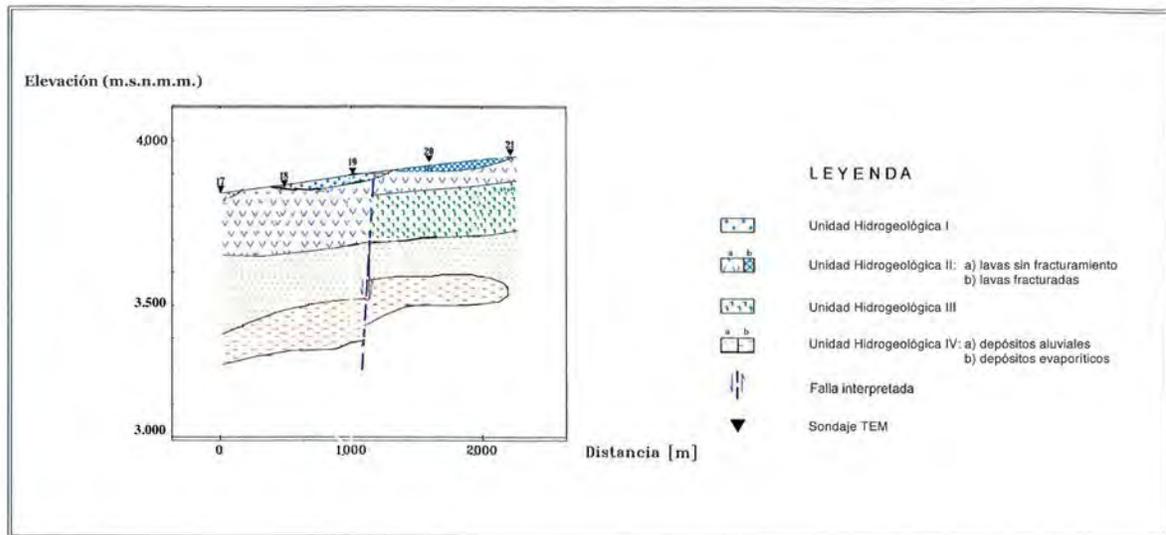
En esta unidad se emplaza el acuífero principal en la zona.

5.2.2.2.5 Unidad V

Representa el basamento del acuífero, y está formado por depósitos asociados a los Estrato-volcanes del Mioceno Superior y a areniscas y conglomerados de edad cretácica.

Un esquema de las unidades hidrogeológicas se detalla en la figura 12 a continuación

Figura 12 Unidades Hidrogeológicas Polapi (FCAB, 2003)



5.2.2.3 Elevación Superficie Piezométrica

Mediciones de nivel estático en pozos indican las siguientes elevaciones de la superficie piezométrica:

Tabla 4 Nivel Estático Superficie Piezométrica (FCAB, 2003)

Pozo	ELEVACIÓN TERRENO (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD AGUA (m)	ELEVACIÓN NIVEL ESTÁTICO (m.s.n.m.)
PPE-2	3.839	171,00	3.668
PPE-3	3.461	142,00	3.320
PPE-4	3.790	149,00	3.642
SEP-1	3.461	141,17	3.320
PLE-1	3.873	123,95	3.749
PLE-2	3.885	135,55	3.750

La superficie piezométrica se indica en las láminas 2 y 4.

5.2.2.4 Parámetros Hidráulicos

5.2.2.4.1 Transmisividad

Resultados de tres pruebas de bombeo realizadas en el pozo de bombeo SEP-1 indican los siguientes valores:

Tabla 5 Transmisividad del Acuífero (FCAB, 2003)

POZO	PRUEBA	MÉTODO ANÁLISIS	TRANSMISIVIDAD (m ² /día)
SEP-1	Gasto Constante	Cooper-Jacob	223,2
SEP-1	Recuperación	Theis-Jacob	266,4
PPE-3 (Observación)	Gasto Constante	Theis	221,8

Estos valores son característicos de un acuífero semiconfinado.

5.2.2.4.2 Coeficiente de Almacenamiento

Resultados de pruebas de bombeo interpretadas según el algoritmo de Theis, indican un valor para el Coeficiente de Almacenamiento de $2,4 \times 10^{-4}$.

Este valor es característico de un acuífero semiconfinado.

5.2.2.5 Recarga, Descarga y Dirección de Flujo

La recarga del acuífero se asocia principalmente a:

- infiltración de precipitaciones nivales y pluviales, las que se infiltran a través de fracturas,
- flujos subterráneos, los que se verifican en la parte alta de la cuenca, y
- aportes de otros sectores por caudal pasante.

El agua subterránea presenta una dirección de flujo desde el este hacia el suroeste. La descarga es hacia el río Loa.

5.2.2.6 Volumen Almacenado

Sobre la base de perfiles geofísicos TEM se estima un volumen para la unidad acuífera de:

$$V_{ac} = 4,90 * 10^{10} \text{ m}^3$$

Considerando un coeficiente de almacenamiento de 5%, el volumen almacenado es de:

$$V_{alm} = 2,45 * 10^9 \text{ m}^3$$

5.2.3 San Pedro o Inacalari

5.2.3.1 Ubicación

Esta zona se ubica entre las coordenadas UTM N 7.560.000 y 7.580.000, y E 560.000 y 580.000 (datum WGS 84).

A continuación se presenta una descripción de hidrogeología del sitio, realizada a partir de los expedientes de sondajes ND-0202-215, ND-0202-466, ND-0202-692 y ND-0202-723.

5.2.3.2 Unidades Hidrogeológicas

Resultados de la descripción estratigráfica de pozos de extracción en el sitio indican la existencia de una unidad acuífera libre.

Esta se emplaza en gravas, arenas y limos que conforman abanicos aluviales y depósitos aluviales subordinadamente coluviales o lacustres. Esto se asocian a la unidad Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno.

5.2.3.3 Elevación Superficie Freática

Resultados de mediciones de niveles en los pozos de extracción en el sitio indican que la superficie freática se ubica entre 2 a 24 m de profundidad (ver Tabla 6).

Tabla 6 Elevación Superficie Freática

Pozo	ELEVACIÓN TERRENO (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD AGUA (m)	ELEVACIÓN NIVEL ESTÁTICO. (m.s.n.m.)
1	3.810,15	9,2	3.800,95
1I	3.810,37	9,31	3.801,06
2	3.824,99	23,94	3.801,05
2I	3.825,05	23,87	3.801,18
3	3.811,47	10,1	3.801,37
3I	3.811,58	10,92	3.800,66
3II	3.812,21	9,63	3.802,58
3III	3.811,04	9,85	3.801,19
4	3.803,21	3,02	3.800,19
4I	3.802,43	2,42	3.800,01
4II	3.801,97	1,97	3.800,00
4III	3.802,98	2,02	3.800,96

Fuente: elaboración propia a partir de expediente de pozos

5.2.3.4 Parámetros Hidráulicos

Resultados de Pruebas de Bombeo indican los siguientes parámetros hidráulicos para el sector

Tabla 7 Parámetros Hidráulicos

Pozo Extracción	Pozo Observ.	Método Análisis	Transmisividad (m ² /d)	Conductividad Hidráulica (m/d)	Coficiente Almacenamiento
B1	B1I	Theis	37565	380	0,32
		Walton	1408,5	18	0,14
		Theis	2690	34	0,22
		Jacob	4530	57	0,12
B2	B2II	Theis	51610	1000	8,30E-02
		Jacob	85436	1700	7,60E-04
B3	B3II	Theis	4595	65	0,14
	B3II	Walton	3272	46	0,34
	B3III	Walton	1775	25	6,00E-03
B4	B4I	Walton	4000	69	1,36E-01
	B4I, B4II	Thiem-Dupuit	3456	76	
	B4II, B4III	Thiem-Dupuit	3431	76	
	B4I, B4III	Thiem-Dupuit	2021	45	

Fuente: elaboración propia a partir de expediente de pozos

5.2.4 Yalqui (Consortio Matraz, 2012)

5.2.4.1 Ubicación

Este sector se ubica entre las coordenadas UTM N 7.500.000 y 7.560.000, y E 510.000 y 550.000 (datum WGS 84).

5.2.4.2 Unidades Hidrogeológicas

Resultados de estudios anteriores (Consortio Matraz, 2012), indican la presencia de tres unidades acuíferas principales, las cuales se disponen sobre el basamento ígneo-metamórfico:

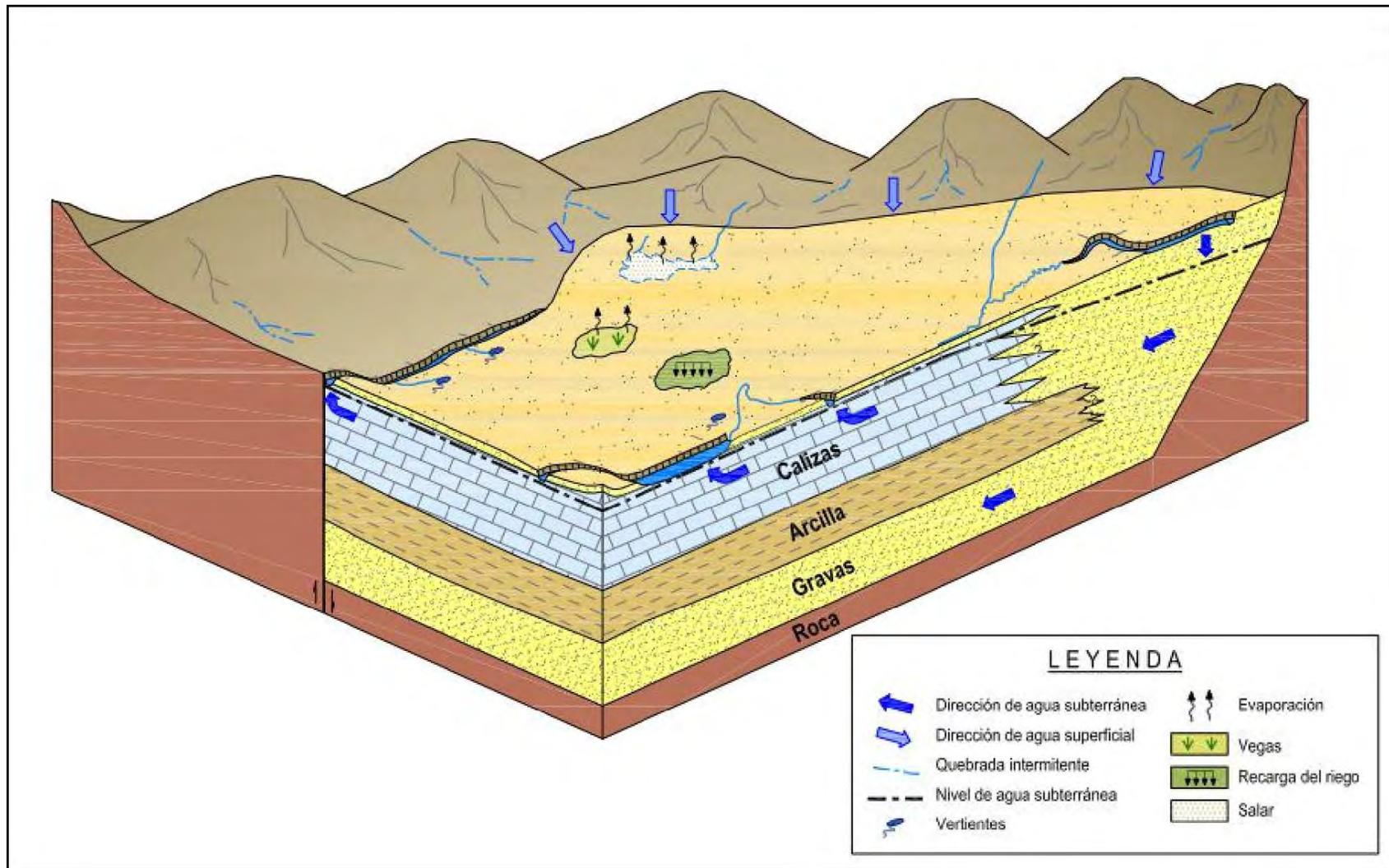
- un acuífero superior, emplazado en calizas y areniscas, con un espesor variable entre 30 a 60 metros,
- un acuitardo emplazado en arcilla y limos de potencia variable entre 80 y 150 metros, y
- un acuífero inferior, emplazado en gravas, con una potencia de entre 30 y 130 metros.

Esta caracterización hidrogeológica fue elaborada a partir de la síntesis de información proveniente de las siguientes fuentes principales (Consortio Matraz, 2012):

- Resumen de los resultados del desarrollo y aplicación de un modelo de flujo de agua subterránea en la cuenca del río Loa. Calama, Chile, realizado por Montgomery & Asociados en 2009,
- Modelamiento hidráulico del Tranque Talabre y su relación con los acuíferos y cauces superficiales, realizado por Knight Piésold Consulting para CODELCO en 2010, y
- Estudio de modelamiento hidrogeológico de la subcuenca Cluster Toqui para el Proyecto Quetena, realizado por Aquaconsult para CODELCO en 2011.

Un Modelo Conceptual de la Hidrogeología Local en este sector se presenta en la Figura 13 a continuación:

Figura 13 Modelo Hidrogeológico Conceptual (Errol Montgomery, 2009)



5.2.4.2.1 Acuífero Superior

Constituye un acuífero predominantemente libre, emplazado en las siguientes unidades (Consortio Matraz, 2012):

- rocas kárstico-arenosas de la Fm Opache y parte superior de la Fm Jalquinche. Exhiben una potencia entre 30 y 130 m, típicamente entre 30 y 70 m.
- depósitos limo-arcillosos aparentemente vinculados con la secuencia inferior clástica-fina de la Fm Opache. Detectada en pozos al noreste y sureste del Tranque Talabre. Exhiben una presencia muy inferior a los depósitos kárstico-arenosos, y
- depósitos de arenas negras. El emplazamiento de este acuífero en la Fm Opache y Fm Jalquinche sugiere que estos depósitos se asocian a la Fm Lasana (engrana con la Fm Jalquinche) o a la Fm. Chiquinaputo (subyace y en parte engrana lateralmente con la Fm Opache, ver figuras 9 y 10).

Al sureste del Tranque Talabre se produce un aumento del espesor de esta unidad, desde un promedio de 40 metros a más de 100 metros.

5.2.4.2.2 Acuitardos Ignimbrítico y Detrítico

El Acuitardo Ignimbrítico está presente en el sector Quetena, con una potencia variable desde 1 a más de 50 m. Dependiendo de su disposición estratigráfica puede generar semiconfinamiento a confinamiento en el acuífero inferior. Consortio Matraz (2012) correlaciona el acuitardo ignimbrítico con la Ignimbrita Artola.

Bajo el acuitardo ignimbrítico se verifica la presencia del Acuitardo Detrítico El Loa, formado principalmente por depósitos limo-arcillosos a arenosos asociados a las Fms Jalquinche, Lasana, Chiquinaputo y, posiblemente, una sección inferior de la Fm Opache. Posee una extensa presencia, con espesores desde 50 hasta 300 m. Se comporta como capa confinante del Acuífero Inferior.

Notar que las unidades a las cuales se asocia el Acuitardo detrítico son las mismas a las cuales se asocia el Acuífero Superior en esta zona.

Si bien Consortio Matraz (2012) describe intercalaciones de lavas volcánicas en las unidades del Acuitardo Detrítico el Loa, los trabajos de realización de cartografía geológica a la fecha no han descrito intercalaciones de lavas en las Fm Jalquinche, Lasana y Chiquinaputo, señalándose la posibilidad que se verifiquen estas intercalaciones hacia el borde NE, posiblemente en las Fm Lasana y Chiquinaputo (Blanco, N., comunicación personal Diciembre 20139).

5.2.4.2.3 Acuífero Inferior

Se emplaza en la Fm Calama (Eoceno-Oligoceno) y subordinadamente en depósitos no consolidados de gravas aluviales, depósitos de piedemonte y depósitos aluviales, alcanzando potencias de hasta 300 metros.

Al respecto, si bien Consortio Matraz (2012) no correlaciona los depósitos no consolidados de gravas aluviales, depósitos de piedemonte y depósitos aluviales,

tentativamente se asigna estos a la unidad Gravas Aluviales Antiguas (Mioceno Inferior a Medio), las que se exponen en el borde occidental de la cuenca (Blanco y Tomlinson (2009). Esta unidad engranan lateralmente con los limos de la Fm Jalquinche, unidad en la cual se emplaza el Acuífero Superior.

En su mayor parte se emplaza bajo los acuitardos ignimbrítico y detrítico, presentando un comportamiento entre semiconfinado a confinado. En la sección alta de la Hoya Quetena se presenta libre de confinamiento.

5.2.4.3 Elevación Superficies Freática y Piezométrica

5.2.4.3.1 Superficie Freática Acuífero Superior

Resultados de mediciones de nivel en 61 pozos, así como mediciones de afloramientos de agua y de ríos (Consortio Matraz, 2012), indican que la superficie freática se desarrolla entre los 2.150 y 2.600 m.s.n.m.

El gradiente hidráulico en la zona Oeste es de aproximadamente 2%, descendiendo hacia la zona central a valores de hasta 6‰. Este descenso se asocia a un aumento de la sección originado por una profundización del basamento. El flujo principal es desde el noreste al suroeste.

Los contornos de la superficie freática se indican en las láminas 2 y 6.

5.2.4.4 Superficie Piezométrica Acuífero inferior

Resultados de medición de niveles en 55 pozos así como información de extracciones (Consortio Matraz, 2012), indica que la superficie piezométrica se desarrolla entre los 2.100 y 2.600 m.s.n.m.

El gradiente hidráulico en la zona Oeste es de 5%, descendiendo hacia la zona central a valores de hasta 4‰, asociado a una profundización del basamento. La dirección de flujo principal es desde el noroeste hacia el sureste.

Los contornos de la superficie piezométrica se indican en la lámina 2.

5.2.4.5 Parámetros hidráulicos

Los parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, provenientes de estudios anteriores (Consortio Matraz, 2012), se detallan a continuación:

5.2.4.5.1 Conductividad Hidráulica

Resultados de 86 ensayos de bombeo, 44 ensayos de recuperación, 37 ensayos Lefranc, 23 Slug Test y 15 ensayos Packer para 115 pozos habilitados en el acuífero superior, 5 pozos habilitados en el acuitardo y 85 pozos en el acuífero inferior, indican que la Conductividad Hidráulica exhibe los siguientes valores:

- Acuífero Inferior: $1,16 \times 10^{-5}$ a $1,39 \times 10^{-1}$ cm s⁻¹
- Acuífero Superior: $1,74 \times 10^{-6}$ a $3,58 \times 10^{-1}$ cm s⁻¹

5.2.4.5.2 Coeficiente de Almacenamiento

Resultados de estimaciones en 21 ensayos en el acuífero inferior y 14 en el acuífero superior, indican que el Coeficiente de Almacenamiento se encuentra dentro de los siguientes rangos:

- Acuífero Superior: $1,2 \times 10^{-4}$ a $1,6 \times 10^{-2}$,
- Acuífero Inferior: 3×10^{-5} a $6,9 \times 10^{-1}$

5.3 Catastro de Pozos

Los resultados de una recopilación y revisión de información relacionada con pozos asociados a derechos de extracción de aguas subterráneas constituidos así como en trámite, junto con pozos de exploración, tanto dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Loa como en la vecindad de esta, se detallan en las Tablas 8 y 9 a continuación:

Tabla 8 Pozos Cuenca Hidrográfica Río Loa (elaboración propia)

CUENCA/AREA	POZO	COORDENADAS UTM		ELEVACION (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	DIAMETRO (")	CAUDAL (l/s)	TITULAR	EXPEDIENTE	Rs. DGA N°	OBSERVACIONES
		N	E								
Pampa Puno	PUNO 2B	7.641.335	521.016	4.119			35,00		ND-0202-1880	859 del 03/10/2002	
	PUNO 4B	7.646.475	521.530	4.099			110,00		ND-0202-1880	859 del 03/10/2002	
	PUNO 6B	7.644.159	521.207	4.099			50,00		ND-0202-1880	859 del 03/10/2002	
	PUNO 7B	7.642.786	521.016	4.102			50,00		ND-0202-1880	859 del 03/10/2002	
	PUNO 9B	7.648.125	521.000	4.144			50,00		ND-0202-1880	859 del 03/10/2002	
	PUNO 8B	7.645.239	521.930	4.080			9,00		ND-0202-2068	859 del 03/10/2002	
	PUNO 10B	7.647.247	521.927	4.103			30,00		ND-0202-2068	859 del 03/10/2002	
	PUNO 11B	7.646.220	520.448	4.122			60,00		ND-0202-2068	859 del 03/10/2002	
	PUNO 1E	764.128	519.743	4.140							
	PUNO 2E	7.641.390	520.948	4.119							
	PUNO 5E	7.646.424	519.031	4.146							
	PUNO 10E	7.647.213	521.951	4.099					CODELCO Norte		
	PUNO 11E	7.646.161	520.412	4.122							
	PUNO 314B	7.641.279	518.454	4.201							
	PUNO 13	7.645.375	522.911	4.060							
	PUNO 3EA	7.641.335	522.099	4.090							
	YOCA-03	7.654.291	516.126	3.986							
	YOCA-08	7.647.854	518.955	4.137							
	YOCA-09	7.652.777	516.984	4.046							
	YOCA-10	7.650.598	518.146	4.090							
PSAP-1	7.645.554	523.715	4.030								
PSAP-2	7.645.504	523.653	4.031								
PSAP-3	7.645.365	523.470	4.032								
POLAPI	PPE-1	7.595.704	558.497	3.808	223	-	1,50				
	PPE-2	7.595.649	559.247	3.839	265	2	1,80				
	PPE-3	7.595.228	550.645	3.462	272	2	3,50	F.C.A.B.			
	PPE-4	7.595.528	558.198	3.791	229	2	2,30				
	SEP-1	7.595.257	550.659	3.461	316	8	22,50				

CUENCA/AREA	POZO	COORDENADAS UTM		ELEVACION (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	DIAMETRO (")	CAUDAL (l/s)	TITULAR	EXPEDIENTE	Rs. DGA N°	OBSERVACIONES	
		N	E									
Ojos de San Pedro	CHU-1B	7.568.937	580.165				233,00	CODELCO	ND-0202-215	40 del 12/01/1990	Pozos y drenes máximo caudal a extraer 1850 l/s, en conjunto	
	CHU-5B	7.570.449	565.524				7,00		ND-0202-215			
	CHU-6B	7.563.158	572.768				30,00		ND-0202-215			
	CHU-10B	7.569.175	569.693				90,00		ND-0202-215			
	CHU-10B(N)	7.569.188	569.683				200,00		ND-0202-215			
	CHU-17B	7.569.217	577.123				220,00		ND-0202-215			
	CHU-18B	7.571.998	574.819				220,00		ND-0202-215			
	B-2(N)	7.571.692	575.158				200,00		ND-0202-215			
	Pozo B1	7.568.759	574.098				60,00		ND-0202-466			
	Pozo B2	7.571.703	575.185				135,00		ND-0202-466			617 del 30/12/1992
	Pozo B3	7.570.239	574.665				100,00		ND-0202-466			
	CHU 25-B	7.569.678	571.544				150,00		ND-0202-692			34 del 13/01/1994
	B4	7.568.679	571.553				40,00		ND-0202-723			50 del 15/02/1993
Llallqui	PW-5	7.516.119	537.638				20,00	Aguas de La Sierra	ND-0202-2310	06 del 19/01/04		
	E-1	7.525.516	543.655				40,00		ND-0202-2244	05 del 19/01/2004		
	W-1	7.515.374	532.641				50,00		ND-0202-2265	04 del 19/01/2004		
	W-6	7.514.189	535.387				35,00		ND-0202-2265	04 del 19/01/2004		
	W-2	7.519.133	537.591				20,00		ND-0202-2260	03 del 19/01/2004		
	P-1	7.520.852	539.663				34,00		ND-0202-2090	02 del 19/01/2004		
	E-2	7.512.629	530.295				30,00		ND-0202-2090	02 del 19/01/2004		
	E-3	7.518.293	545.064				50,00		ND-0202-2090	02 del 19/01/2004		
	P-X	7.523.061	542.237				40,00		ND-0202-2105	01 del 19/01/2004		
	Paty N° 1	7.522.986	535.303				31,00		Inv. Aqualama Ltda	ND-0202-896	548 del 30/07/1996	
Sierra Gorda	QB-1	7.481.550	518.905				53,000	Santiago de Río Grande	ND-0202-2146			
	QB-2	7.482.844	521.387				48,000		ND-0202-2146			
	QB-3	7.484.018	519.870				51,000		ND-0202-2146			
Loa	s/nombre	7.595.257	550.659				50,000	F.C.A.B.	ND-0202-2185			
	PC-1B	7.544.693	524.931				80,000	CODELCO	ND-0202-5066			
	PC-2B	7.542.795	524.629				70,000		ND-0202-5066			

Tabla 9 Pozos Vecindad Cuenca Hidrográfica Río Loa (fuente: elaboración propia)

CUENCA	POZO	COORDENADAS UTM		ELEVACION (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	DIAMETRO (")	CAUDAL (l/s)	TITULAR	EXPEDIENTE	Rs. DGA N°
		N	E							
Salar Alconcha de	A1	7.673.130	554.560				33,90	Cía. Minera Quebrada Blanca	M-2-59	116 del 05/04/1984
	A3	7.671.540	555.350				1,50		M-2-59	116 del 05/04/1984
	A4	7.671.450	555.320				49,30		M-2-59	116 del 05/04/1984
	A5	7.670.445	553.650				1,80		M-2-59	116 del 05/04/1984
	A7	7.673.924	553.540				11,20		M-2-59	116 del 05/04/1984
	A8	7.673.775	552.640				16,20		M-2-59	116 del 05/04/1984
	A9	7.673.630	556.210				1,50		M-2-59	116 del 05/04/1984
	A10	7.673.665	556.145				1,50		M-2-59	116 del 05/04/1984
	A12	7.672.165	556.576				3,40		M-2-59	116 del 05/04/1984
Salar de Ollagüe	OLLAE-4B	7.654.423	574.962				50,00	Codelco Norte	ND-0202-1586	80 del 03/03/2003
	OLLAE-2B	7.655.352	573.272				50,00		ND-0202-1586	80 del 03/03/2003
	OLLAE-3B	7.655.042	574.244				60,00		ND-0202-1586	80 del 03/03/2003
	OLLAE-5B	7.656.326	574.323				90,00		ND-0202-1586	80 del 03/03/2003
	OLLAE-7B	7.656.031	575.671				150,00		ND-0202-2066	80 del 03/03/2003
	OLLAE-8B	7.654.814	578.375				200,00		ND-0202-2066	80 del 03/03/2003
	OLLAE-10B	7.657.438	574.974				30,00		ND-0202-2066	80 del 03/03/2003
	OLLAE-11B	7.654.422	573.463				120,00		ND-0202-2066	80 del 03/03/2003
Salar de Ascotán	SONDAJE 12	7.618.455	563.430				2,00	S.C.M. El Abra	ND-0202-542	122 del 06/04/2004
	SONDAJE 13	7.618.977	563.519				2,00		ND-0202-542	122 del 06/04/2004
	SONDAJE 15	7.620.662	565.136				2,00		ND-0202-542	122 del 06/04/2004
	CHU -28B	7.606.929	579.070				2,00		ND-0202-787	122 del 06/04/2004
	ASB-13	7.608.076	579.344				2,00		ND-0202-1082	122 del 06/04/2004
	ASB-11	7.606.846	579.299				2,00		ND-0202-1083	122 del 06/04/2004
	ASB-30	7.628.215	580.446				150,00		ND-0202-1402	122 del 06/04/2004
	ASB-20	7.611.789	578.894				2,00		ND-0202-1403	122 del 06/04/2004
	ASB-62	7.623.145	580.231				10,00		ND-0202-2067	122 del 06/04/2004
	ASB-64	7.620.358	579.132				200,00		ND-0202-2067	122 del 06/04/2004
	ASB-10	7.606.234	580.653				150,00		ND-0202-1084	185 del 11/05/1994
	ASB-10A	7.606.195	580.734				50,000		ND-0202-2294	
ASB-10A	7.606.195	580.734				50,000	ND-0202-2505			

6 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Con el objetivo de aportar antecedentes para determinar la profundidad del nivel freático y del basamento rocoso, y, en consecuencia, del volumen embalsado, en las zonas del acuífero donde ésta información no se encontraba disponible y sea necesaria para una mejor caracterización, durante el presente estudio se realizó una campaña de Prospección Geofísica.

La campaña de Prospección Geofísica consistió en levantamiento de Transiente Electromagnético (TEM) en 105 estaciones y gravimétrico en 400 estaciones.

6.1 Transiente Electromagnético (TEM)

6.1.1 Trabajos en Terreno

Para la realización de los sondeos TEM se instaló en superficie un loop de cable eléctrico, al cual se le aplicó una corriente eléctrica variable, en forma de onda cuadrada de 50%. Esta corriente genera un campo electromagnético que se propaga por difusión.

En cada sondeo se realizaron mediciones del decaimiento del voltaje en el tiempo, a intervalos de fracción de segundo, durante los instantes de corriente transmisora cero. Se realizaron mediciones mediante la utilización de un receptor digital (PROTEM) marca GEONICS.

Puesto que al utilizar un loop de transmisión la profundidad de investigación es equivalente, en forma aproximada, a la semisuma de los lados del loop, y considerando que el ruido en una medición TEM se incrementa con el tamaño del loop, sobre la base de los antecedentes existentes en relación con la profundidad de las unidades acuíferas en el sitio se utilizó un tamaño del loop de transmisión de 200 m x 200 m.

Se utilizó las siguientes tres frecuencias para el registro de los datos: 25; 6,25 y 2,5 Hz. Sobre la base de la experiencia en trabajos similares, al utilizar 3 frecuencias se obtiene una mejor resolución en la determinación de los espesores y resistividades.

Las 105 ubicaciones de muestreo se distribuyeron en 5 perfiles. La ubicación de las estaciones de medición se señala en la Lámina 3. Las coordenadas de las ubicaciones de muestreo se detallan en la Tabla 10 a continuación:

Tabla 10 Ubicaciones de Muestreo TEM (datum WGS84)

UBICACIÓN		COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN
PERFIL	PUNTO	E	N	(m.s.n.m.)
TEM-1	1	554.118	7.544.289	2.909
	2	554.168	7.543.761	2.900
	3	554.217	7.543.265	2.882
	4	554.253	7.542.769	2.850
	5	554.289	7.542.265	2.834
	6	555.815	7.523.816	2.753
	7	554.368	7.541.266	2.737
	8	554.410	7.540.768	2.720
	9	554.460	7.540.271	2.705
	10	554.497	7.539.772	2.692
	11	554.537	7.539.271	2.680
	12	554.570	7.538.776	2.672
	13	554.626	7.538.270	2.664
	14	554.656	7.537.770	2.666
	15	554.698	7.537.278	2.670
	16	554.739	7.536.776	2.675
	17	554.771	7.536.283	2.681
	18	554.836	7.535.781	2.711
	19	554.860	7.535.288	2.711
	20	554.885	7.535.061	2.707
	21	554.951	7.534.279	2.704
	22	555.768	7.524.305	2.752
	23	555.032	7.533.296	2.706
	24	555.077	7.532.788	2.708
	25	555.113	7.532.289	2.703
	26	555.221	7.531.753	2.707
	27	555.204	7.531.284	2.726
	28	555.241	7.530.791	2.712
	29	555.279	7.530.292	2.734
	30	555.312	7.529.728	2.732
	31	555.358	7.529.289	2.737
	32	555.398	7.528.791	2.736
	33	555.447	7.528.306	2.731
	34	555.460	7.527.870	2.682
	35	555.480	7.527.277	2.692
	36	555.568	7.526.798	2.742

UBICACIÓN		COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN
PERFIL	PUNTO	E	N	(m.s.n.m.)
	37	555.608	7.526.289	2.743
	38	555.641	7.525.798	2.740
	39	555.693	7.525.293	2.746
	40	555.728	7.524.804	2.750
TEM-2	1	548.377	7.517.024	2.631
	2	548.851	7.516.865	2.642
	3	549.314	7.516.697	2.651
	4	549.786	7.516.511	2.664
	5	550.261	7.516.331	2.675
	6	550.721	7.516.158	2.684
	7	551.196	7.515.981	2.703
	8	551.660	7.515.808	2.719
	9	552.126	7.515.634	2.733
	10	552.600	7.515.461	2.753
	11	553.061	7.515.284	2.768
	12	553.537	7.515.113	2.782
	13	554.000	7.514.937	2.797
	14	554.469	7.514.765	2.816
	15	554.939	7.514.588	2.828
	16	555.404	7.514.411	2.842
	17	555.878	7.514.233	2.868
	18	556.350	7.514.057	2.894
	19	556.818	7.513.893	2.919
	20	557.286	7.513.730	2.942
	21	557.697	7.513.451	2.965
	22	547.902	7.517.199	2.620
	23	547.442	7.517.366	2.610
	24	546.971	7.517.528	2.600
	25	546.506	7.517.703	2.590
TEM-3	16	532.830	7.640.942	3.726
	17	533.328	7.640.952	3.727
	18	533.831	7.640.970	3.730
	20	534.837	7.641.019	3.723
	24	536.969	7.640.971	3.776
	25	537.373	7.640.976	3.775
	26	537.781	7.640.843	3.761

UBICACIÓN		COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN
PERFIL	PUNTO	E	N	(m.s.n.m.)
TEM-4	1	543.930	7.562.836	3.107
	2	546.995	7.562.782	3.228
	3	546.494	7.562.792	3.205
	4	545.964	7.562.797	3.185
	5	545.461	7.562.801	3.163
	6	544.961	7.562.806	3.142
	7	544.447	7.562.814	3.124
	8	538.837	7.562.969	3.015
	9	539.484	7.562.952	3.008
	10	539.925	7.562.945	3.007
	11	540.422	7.562.919	3.005
	12	540.931	7.562.916	3.014
	13	541.425	7.562.901	3.025
	14	541.929	7.562.887	3.039
	15	542.428	7.562.874	3.054
	16	542.928	7.562.858	3.069
	17	543.432	7.562.846	3.088
	18	547.490	7.562.759	3.248
	19	548.000	7.562.764	3.263
	20	548.502	7.562.755	3.286
	21	549.001	7.562.744	3.306
	22	549.504	7.562.732	3.314
	23	550.001	7.562.723	3.339
	24	550.503	7.562.716	3.348
	25	551.003	7.562.711	3.382
	26	551.499	7.562.694	3.402
TEM-5	1	483.299	7.514.064	1.819
	2	483.202	7.513.567	1.818
	3	483.113	7.513.076	1.814
	4	483.016	7.512.589	1.813
	5	482.922	7.512.093	1.809
	6	482.835	7.511.609	1.802
	7	482.744	7.511.112	1.802

6.1.2 Procesamiento de Datos

Con el objetivo de obtener un modelo estratificado del subsuelo, se invirtieron las curvas de voltaje en función del tiempo, determinando valores de resistividad asociado a distintas profundidades. Para la inversión se utilizó el software interactivo 1X1Dv3, de Interpex.

Los valores de resistividad en profundidad de cada sondaje TEM fueron integrados en secciones de resistividad, la que permite la identificación de los distintos estratos presentes.

6.1.3 Resultados

Las secciones de resistividad de los perfiles TEM 1 a TEM 5 se indican en las figuras 14 a 18 a continuación. Los resultados obtenidos en terreno (resistividad en función del tiempo y perfil unidimensional de resistividad en función de la profundidad) para cada sondaje TEM se detallan en el Anexo A.

Figura 14 Perfil TEM-1

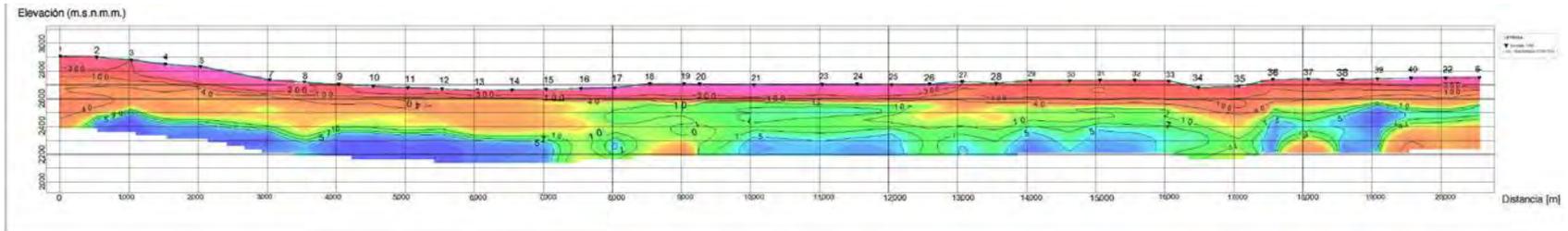


Figura 15 Perfil TEM-2

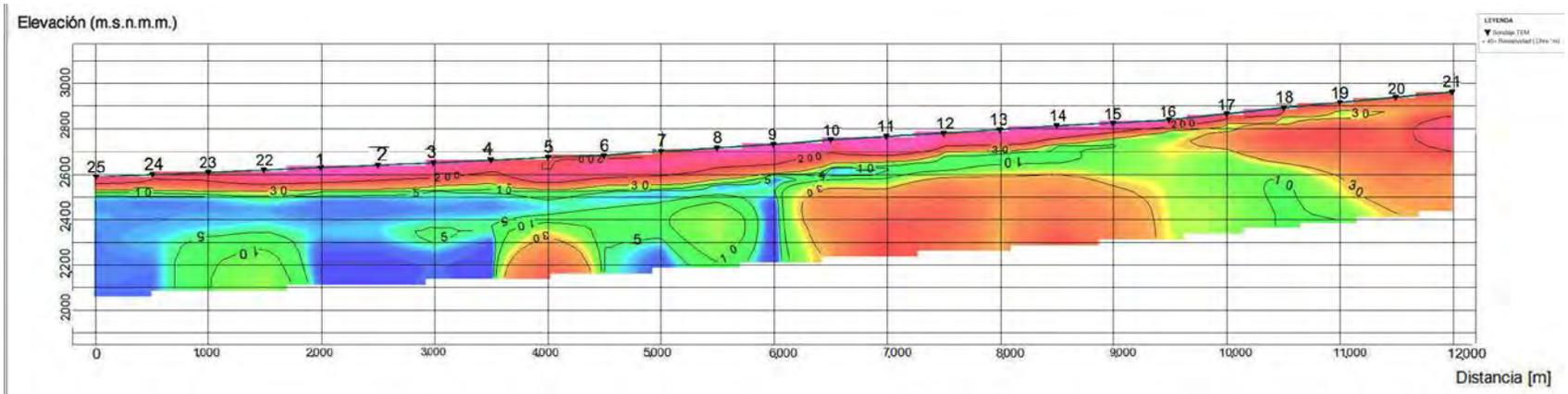


Figura 16 Perfil TEM-3

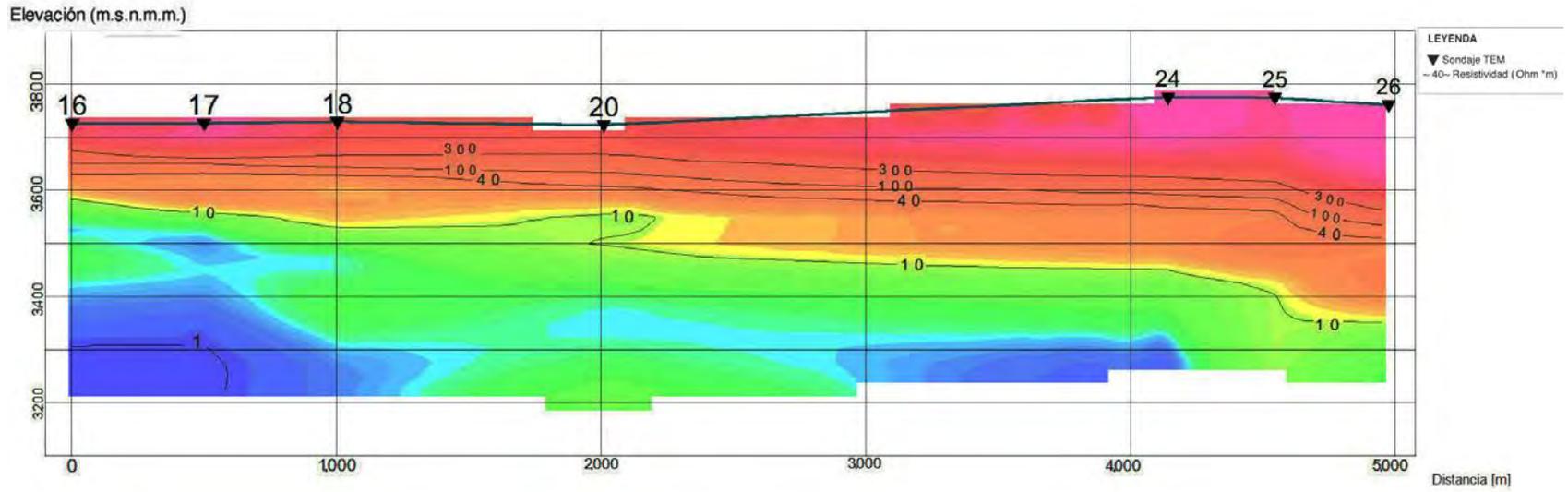


Figura 17 Perfil TEM-4

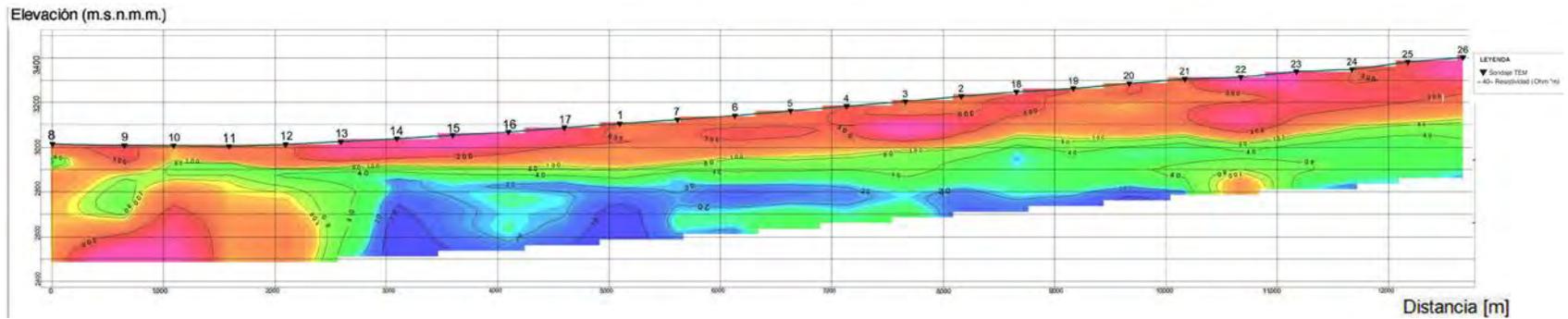
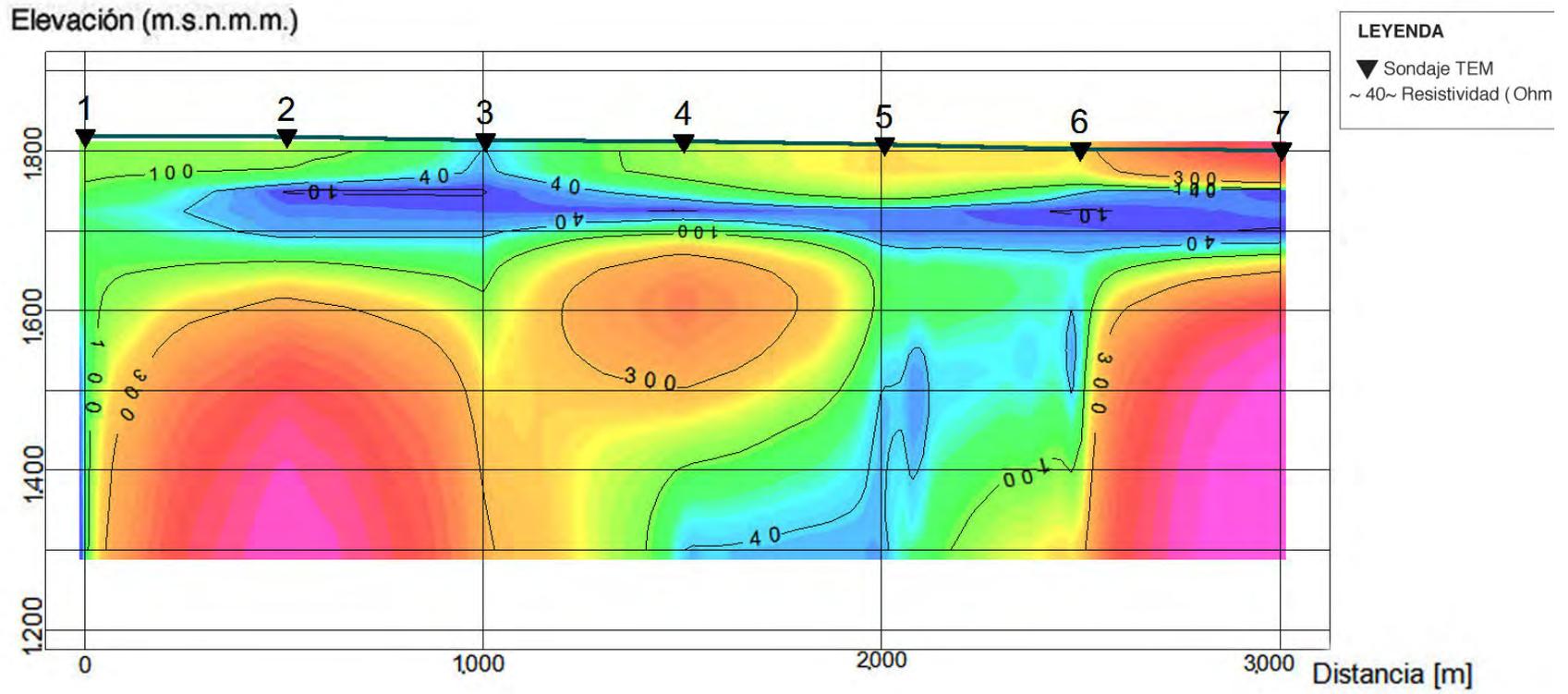


Figura 18 Perfil TEM-5



6.2 Prospección Gravimétrica

6.2.1 Trabajos en Terreno

La prospección gravimétrica comprendió la determinación de lecturas de aceleración de gravedad en 400 ubicaciones.

Como Estación Base de Referencia de Gravedad se utilizó la estación Cruce Tocopilla (CRTO), ubicada en el cruce de la Ruta 5 Norte con el camino que une Tocopilla con Calama. Esta corresponde a la estación de la red gravimétrica nacional que se encuentra más cercana al área de estudio. Su valor de Gravedad es de 978.449,64 miligales. Desde esta estación se transportó el valor de gravedad hasta el área de trabajo y viceversa.

Con el objetivo de aportar datos para cuantificar, y por tanto corregir, el error de deriva, (correspondiente a la diferencia entre las lecturas en un mismo punto al inicio y al final de un circuito de medición), al inicio y al final de cada circuito se realizó mediciones en puntos caracterizados como base gravimétrica. El procedimiento comprendió las siguientes etapas:

- medición inicial en la base (3 o más lecturas),
- lecturas en las estaciones, y
- cierre con 3 o más lecturas en la misma base.

Para el presente estudio se utilizó un gravímetro marca Lacoste & Romberg modelo G, número de serie 0559. Diariamente, en forma previa a la realización de las lecturas en la base gravimétrica, se realizó una verificación del normal funcionamiento del gravímetro, a través de un chequeo de la línea de lectura, así como de la sensibilidad y el nivel transversal del instrumento.

La ubicación de las estaciones de medición se señala en la Lámina 3.

6.2.2 Procesamiento de Datos

Las lecturas del gravímetro fueron convertidas a miligales utilizando los coeficientes de calibración del instrumento.

El error de deriva se corrigió utilizando como base el supuesto de una deriva lineal en el tiempo, con lo cual para cada medición este error fue estimado como un incremento proporcional de acuerdo al tiempo de la medición.

El efecto de marea fue corregido mediante la aplicación del algoritmo numérico de Longman (1959).

Para obtener la Gravedad de Bouguer Simple, a las medidas de gravedad le fueron aplicadas las siguientes correcciones:

- Corrección por Latitud
- Corrección por Aire Libre
- Corrección de Bouguer

Con el objeto de obtener la Gravedad de Bouguer Total, las medidas se corrigieron por el efecto topográfico. Para ello, se utilizó un modelo topográfico regional, obtenido a partir de los datos del modelo digital del Shuttle Radar Topography Mission de la NASA, el cual posee una resolución de 90 metros, así como un modelo topográfico digital local, construido con las cotas de todas las estaciones.

Finalmente, se obtuvo la corrección de terreno mediante la utilización del programa TERRAIN de Geosoft, utilizando un radio de influencia máximo de 10,0 km.

6.2.3 Georeferenciación

Con el propósito de georeferenciar las mediciones en terreno, se utilizó como Estación de Referencia la Estación Geodésica Cruz Elena, ubicada en el Cerro La Cruz (22°.11'.47" Lat S; 69°.45'.15" Long O). Esta corresponde a una estación de la Red Geodésica Nacional SIRGAS-Chile. Desde esta estación, se transportó hasta el área de trabajo el valor de las coordenadas y cota, estableciéndose una base que fue utilizada para la adquisición de los datos de GPS.

Se utilizó equipos GPS marca TRIMBLE modelo R6, de doble frecuencia, equipados con las constelaciones de GPS y de GLONASS (Constelación Rusa).

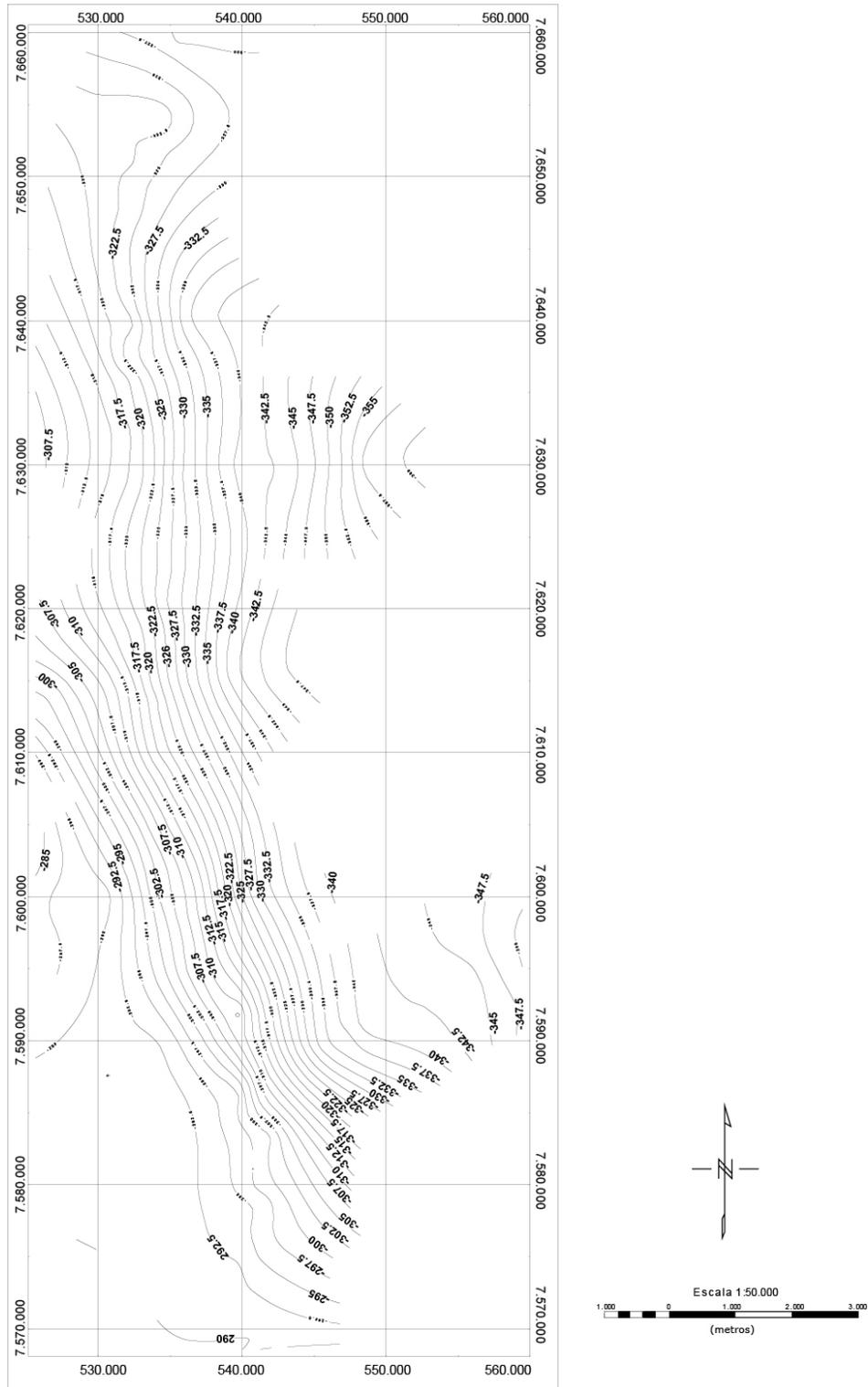
Para determinar las coordenadas UTM, a los datos adquiridos con los receptores de GPS se les realizó un procesamiento con el software Trimble Business Center, versión 2.5.

La elevación fue determinada con un error inferior a 15 milímetros, precisión suficiente para realizar la reducción de los datos de gravedad.

6.2.4 Resultados

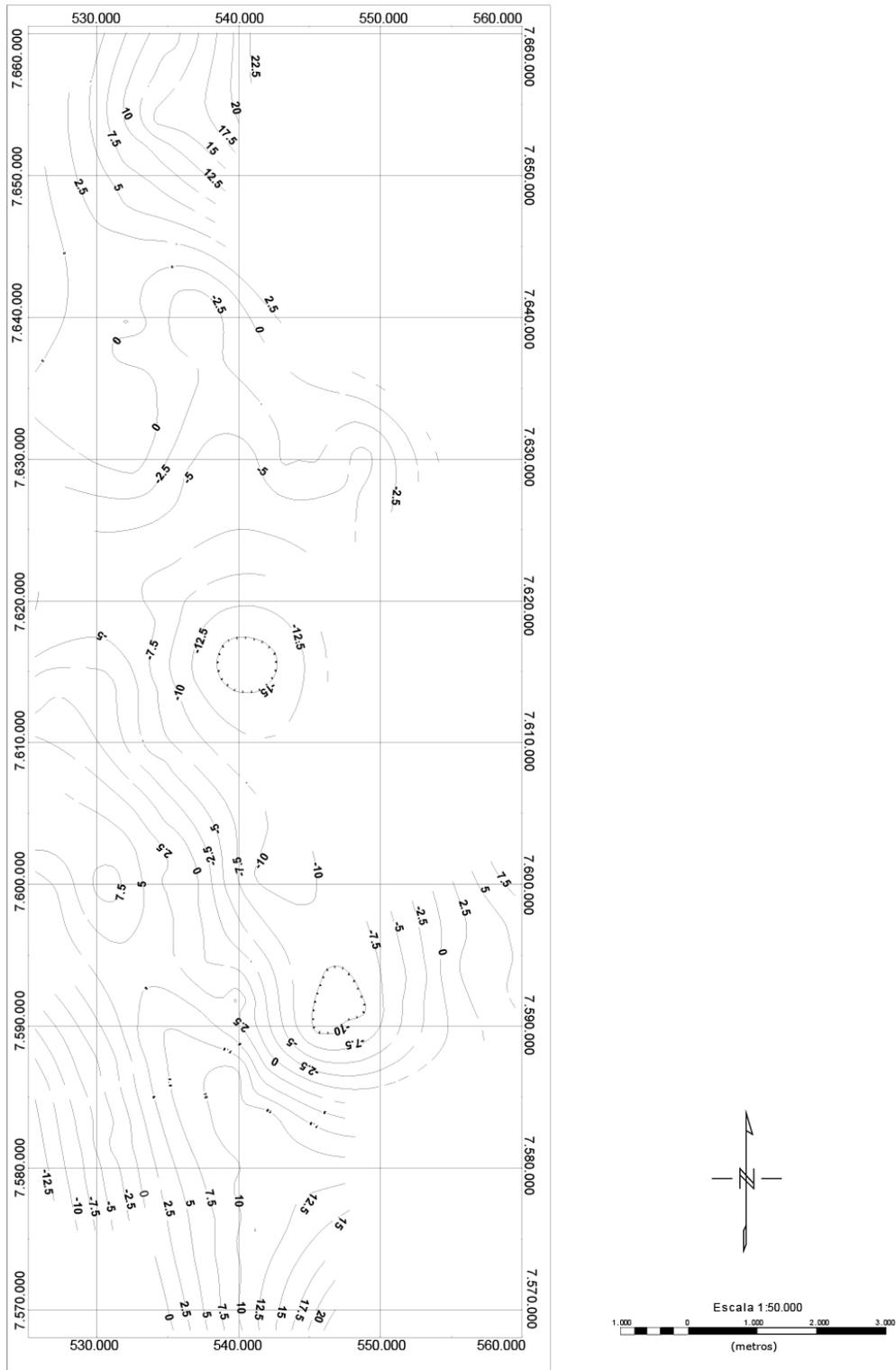
Los resultados de la prospección gravimétrica se indican en la Figura 19 a continuación:

Figura 19 Mapa de la Gravedad de Bouguer Simple (fuente: elaboración propia)



Las curvas de contorno de la gravedad de Bouguer Residual se detallan en la Figura 20 a continuación:

Figura 20 Mapa de la Gravedad de Bouguer Residual (fuente: elaboración propia)



7 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Interpretación de resultados TEM

7.1.1 Correlación General

Para la interpretación de las secciones de resistividad en términos de litología y presencia de agua, la experiencia acumulada nos permite indicar las siguientes características generales para este parámetro eléctrico en sedimentos y rocas en distintas condiciones de humedad en el Norte y Centro de Chile:

- Sedimentos:
 - suele encontrarse en el rango de 1 a 100 Ohm*m,
 - depende de la granulometría, contenido de agua y sales disueltas,
 - aumenta con el tamaño de partícula,
 - arcillas semi secas a secas presentan valores entre 300 y 1.000 Ohm*m,
 - arcillas húmedas presentan valores de resistividad < 100 Ohm*m,
 - los acuíferos exhiben valores entre 20 a 40 Ohm*m, y
 - sedimentos con altos contenido de sal exhiben valores < 10 Ohm*m.
- Rocas:
 - suele encontrarse en el rango de 50 a miles de Ohm*m,
 - depende del contenido de sílice, meteorización y fracturamiento,
 - rocas muy descompuestas y/o meteorizadas presentan los menores valores de resistividad,
 - rocas sólidas, sin fracturas importantes, exhiben resistividades mayores a 1.000 Ohm*m,
 - rocas con alto contenido de sílice/cuarzo presentan valores de resistividad > 2.000 Ohm* m,
 - rocas cristalizadas o con grandes cavidades presentan los valores más altos de resistividad, miles de Ohm*m, y
 - en Chile la mayoría de las rocas presentan valores entre 50 y 350 Ohm*m.

Una correlación entre resistividad, litología y contenido de agua basada en nuestra experiencia previa se señala en la Tabla 11 a continuación:

Tabla 11 Relación entre Resistividad, Litología y Contenido de Agua (fuente: elaboración propia)

RESISTIVIDAD (Ohm-m)	MATERIAL GEOLÓGICO	CONTENIDO DE AGUA
5 a 50	arcillas, silts, arenas, gravas, y bolones	alto
50 a 150		bajo
50 a 100	roca meteorizada significativamente	presencia de agua en rango 50-80 ohm-m
100 a 200	Rocas con alteración y/o fracturas en un 30% o más de su masa	mínimo
150 a 300	Rocas con fracturamiento medio	nulo
300 o mayor	Rocas sólidas, fracturadas en 20% a 30% de su masa	
500 o mayor	Rocas con fracturas en 20% o menor	
1.000 o mayor	Rocas con cavidades importantes	

7.1.2 Calibración

Los resultados de la prospección geofísica fueron calibrados con datos existentes de geología de superficie, sondajes, pozos, estudios geofísicos previos e interpretaciones anteriores. Para esto, se identificó la estratigrafía en todos los puntos cercanos entre antecedentes previos y prospecciones en este estudio. Los puntos de calibración y sus características estratigráficas se señalan en la Tabla 12 a continuación:

Tabla 12 Ubicaciones de Calibración Prospección Geofísica

ESTE ESTUDIO			ESTUDIOS ANTERIORES							
UBICACIÓN	METODOLOGÍA	UNIDAD GEOLÓGICA EN SUPERFICIE	REFERENCIA	METODOLOGÍA	UBICACIÓN	DISTANCIA	UNIDAD GEOLÓGICA EN SUPERFICIE	ESTRATIGRAFÍA	NIVEL SATURADO	ACUIFERO
T5E38	Gravimetría	Estratovolcanes del Mioceno al reciente	FCAB, 1991	TEM	11	700 m al O	Estratovolcanes del Mioceno al reciente	0-12 m: gravas y gravillas areno-limosas 12-148 m: tobas de ceniza 148-214 m: alternancia de gravas y arenas con tobas 214-223 m: gravas y gravillas arenosas	214 m	Confinado
16					420 m al E	Estratovolcanes del Mioceno al reciente				
T5E39	POZO	PPE-1		340 m al SE	Estratovolcanes del Mioceno al reciente		0-17 m: gravas y gravillas areno-limosas; 17-148 m: tobas de ceniza; 148-192 m gravas y arenas con tobas; 192-229 m: gravas y gravillas arenosas		192 m	Confinado
PPE-4		350 m al S								
TEM4-12	TEM	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	Matraz, 2012	Gravimetría	12	100 m al O	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	0 -116 m: relleno sedimentario 116 - m: Basamento Cristalino	s.i	s.i
TEM4-16					13	100 m al O		0 -179,8 m: relleno sedimentario 179,8 - m: Basamento Cristalino		
TEM1-13	TEM	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	Jordan et al, 2006	Sísmica	Z1F007 km 55 desde el SO	135 m al N	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	0-140 m: sedimentos clásticos Fm Opache (Mioceno Superior-Plioceno) 140-165 m: conglomerados (Fm Lasana) y limolitas (Fm Jalquinche) (Mioceno Medio - Superior) 165-390 m: conglomerados, limolitas y yeso Fm El Yeso (Mioceno Inferior) 390-875 m: conglomerados y limolitas Fm Yalqui (Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior) 875-1460 m: conglomerados y gravas Fm Calama (Eoceno Inferior a Medio) 1460-2510 m: rocas sedimentarias clásticas y marinas del Triásico 2510- m: Basamento Cristalino	s.i	s.i
TEM1-33	TEM	Formación Calama-Mioceno Inferior a Medio	Jordan et al, 2006	Sísmica	Z1F006 km 37 desde el NO	135 m al N	Formacion Calama-Mioceno Inferior-medio	0-10 m: sedimentos clásticos Fm Opache (Mioceno Superior-Plioceno) 10-15 m: conglomerados (Fm Lasana) y limolitas (Fm Jalquinche) (Mioceno Medio - Superior) 15-85 m: conglomerados, limolitas y yeso Fm El Yeso (Mioceno Inferior) 85-405 m: conglomerados y limolitas Fm Yalqui (Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior) 405 - m: Basamento Cristalino	s.i	s.i
TEM2-25	TEM	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	Matraz 2012	Gravimetría	59	65 m al N	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	0 - 633,7 m: relleno sedimentario 633,7 - m: Basamento Cristalino	s.i	s.i
TEM2-1		Formación Calama - Mioceno Inferior a Medio			60	35 m al N	Formación Calama - Mioceno Inferior a Medio	0 - 726,7 m: relleno sedimentario 726,7 - m: Basamento Cristalino		
TEM2-5		Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno			61	35 m al N	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	0 - 759,9 m: relleno sedimentario 759,9 - m: Basamento Cristalino		
TEM2-25		Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno			Antecedentes	Pozo E-3	850 m al NO	Depósitos Aluviales del		

ESTE ESTUDIO			ESTUDIOS ANTERIORES							
UBICACIÓN	METODOLOGÍA	UNIDAD GEOLÓGICA EN SUPERFICIE	REFERENCIA	METODOLOGÍA	UBICACIÓN	DISTANCIA	UNIDAD GEOLÓGICA EN SUPERFICIE	ESTRATIGRAFÍA	NIVEL SATURADO	ACUIFERO
							Pleistoceno-Holoceno	indeterminado-14m: acuífero superficial 14 - 92 m: acuitardo 92 - 194 m: acuífero profundo 336 - m: Basamento	14 92	libre confinado
TEM5-1 TEM5-5	TEM	Formación El Loa-Mioceno a Plioceno	Matraz 2012	Gravimetría	101 100	430 m al ESE 750 m al E	Formación El Loa-Mioceno a Plioceno	s.i s.i	s.i	s.i
TEM1-40	TEM	Formación Calama - Mioceno Inferior a Medio	Matraz 2012	Antecedentes	Corte T9 extremo Este	5.100 m al Oeste	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno	0-18 m : relleno superficial 18-80 m: acuífero superficial 80 -105 m: acuitardo 105 - 190 m: acuífero profundo 190 - m: Basamento	18 m 105 m	libre confinado
TEM 2-23	TEM	Depósitos Aluviales del Pleistoceno - Holoceno	Matraz 2012	Antecedentes	Corte T8	3.620 m al NO del extremo E	Depósitos Aluviales del Pleistoceno - Holoceno	0-7 m : relleno superficial 7- 65m: acuífero superficial 65 -110 m: acuitardo 110 - 242 m: acuífero profundo 242 - m: Basamento	7 m 110	libre confinado

s.i. sin información

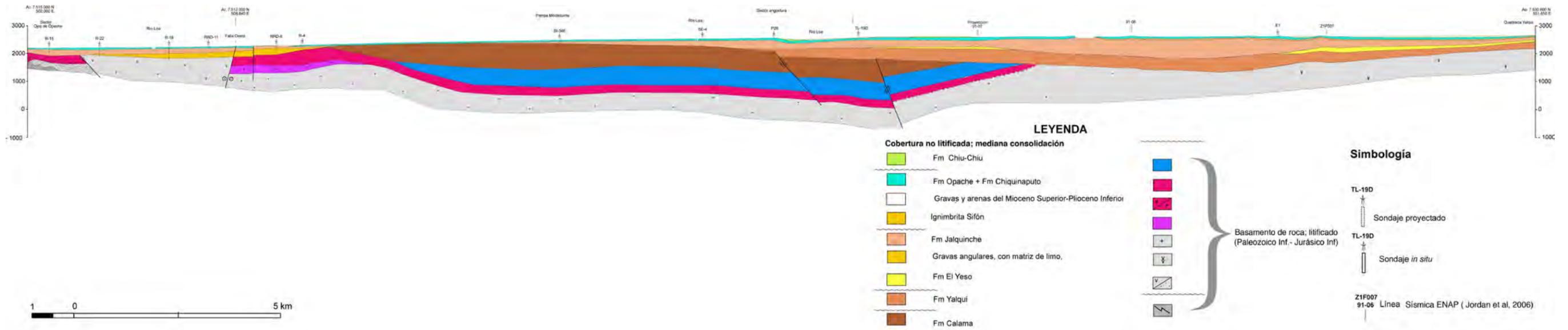
7.1.3 Interpretación

Los resultados de las prospecciones TEM realizadas durante el presente estudio permiten caracterizar una superficie de contacto entre una zona no saturada y una zona saturada. La elevación de esta superficie sugiere una correlación con el techo de la unidad acuífera inferior definida por Consorcio Matraz (2012).

En las prospecciones TEM realizadas durante el presente estudio no se observa la unidad acuífera superior descrita por Consorcio Matraz (2012). Esto es consistente con el adelgazamiento reportado hacia el oriente para los carbonatos palustres de las Fm Opache y Chiquinaputo, unidades donde en parte se emplaza la unidad acuífera superior, y que se acuñan en la Quebrada Yalqui (ver Figura 21). Como se señaló en 4.2.2 los depósitos distales finos de los sistemas aluviales ocuparon el centro de la cuenca, mientras que en los márgenes, en particular en el margen oriental, se desarrollaron sistemas de abanicos aluviales. Por tal motivo no es dable esperar la presencia de los carbonatos palustres de las Fm Opache y Chiquinaputo, donde en parte se emplaza la unidad acuífera superior, en la sección oriental de la cuenca, donde se realizó las prospecciones TEM durante el presente estudio.

Consorcio Matraz (2012) establece asimismo que la unidad acuífera superior se emplaza en la parte superior de la Fm Jalquinche y depósitos de arenas negras, los cuales han sido asignados tentativamente en este estudio a la Fm Lasana o Fm Chiquinaputo. No obstante, estas mismas unidades forman parte del Acuitardo Detrítico El Loa (ver apartado 5.2.4.2.2). Cabe destacar que las rocas kárstico arenosas de la Fm Opache cubren concordantemente a la Fm Chiquinaputo, que en parte engrana lateralmente con ella (ver apartado 4.2.4). Lo anterior sugiere que la zona no saturada observada en las prospecciones TEM durante el presente estudio se asigna a unidades desde las Fm Jalquinche a Chiquinaputo, las que se comportan como capa confinante.

Figura 21 Perfil Geológico Calama – Quebrada Yalqui (Blanco, 2008)



La zona saturada observada en las prospecciones TEM durante el presente estudio es posible asignarla a gravas de las Fm Calama y Yalqui, de amplia distribución en el área de estudio (ver figuras 10, 22), así como a la unidad Gravas Aluviales Antiguas (Mioceno Inferior a Medio), la que se expone en el borde occidental de la cuenca y engrana lateralmente con los limos de la Fm Jalquinche (Blanco y Tomlinson, 2009, ver figura 22).

8 MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL

Con el objetivo de determinar el volumen embalsado en el acuífero, durante el presente estudio se realizó un modelamiento hidrogeológico tridimensional de las unidades acuíferas en el Área de Estudio.

El modelamiento consideró la caracterización de la geometría de las siguientes unidades:

- Acuífero Superficial
- Acuitardo
- Acuífero Profundo
- Basamento

Para definir la geometría de estas unidades, se utilizó las superficies definidas por Consorcio Matraz (2012) para la construcción de su modelo hidrogeológico numérico, en conjunto con los resultados de la interpretación de las prospecciones geofísicas realizadas durante el presente estudio, y la distribución de las unidades geológicas en superficie.

El Modelo Hidrogeológico Tridimensional fue construido utilizando el software SURPAC[®]. El software SURPAC[®] comprende un conjunto de herramientas para la generación de superficies y volúmenes a partir de información puntual o lineal en una interfaz gráfica que facilita la creación y edición de elementos vectoriales. El software SURPAC[®] ha sido desarrollado por GeoVia (antiguamente Gemcom).

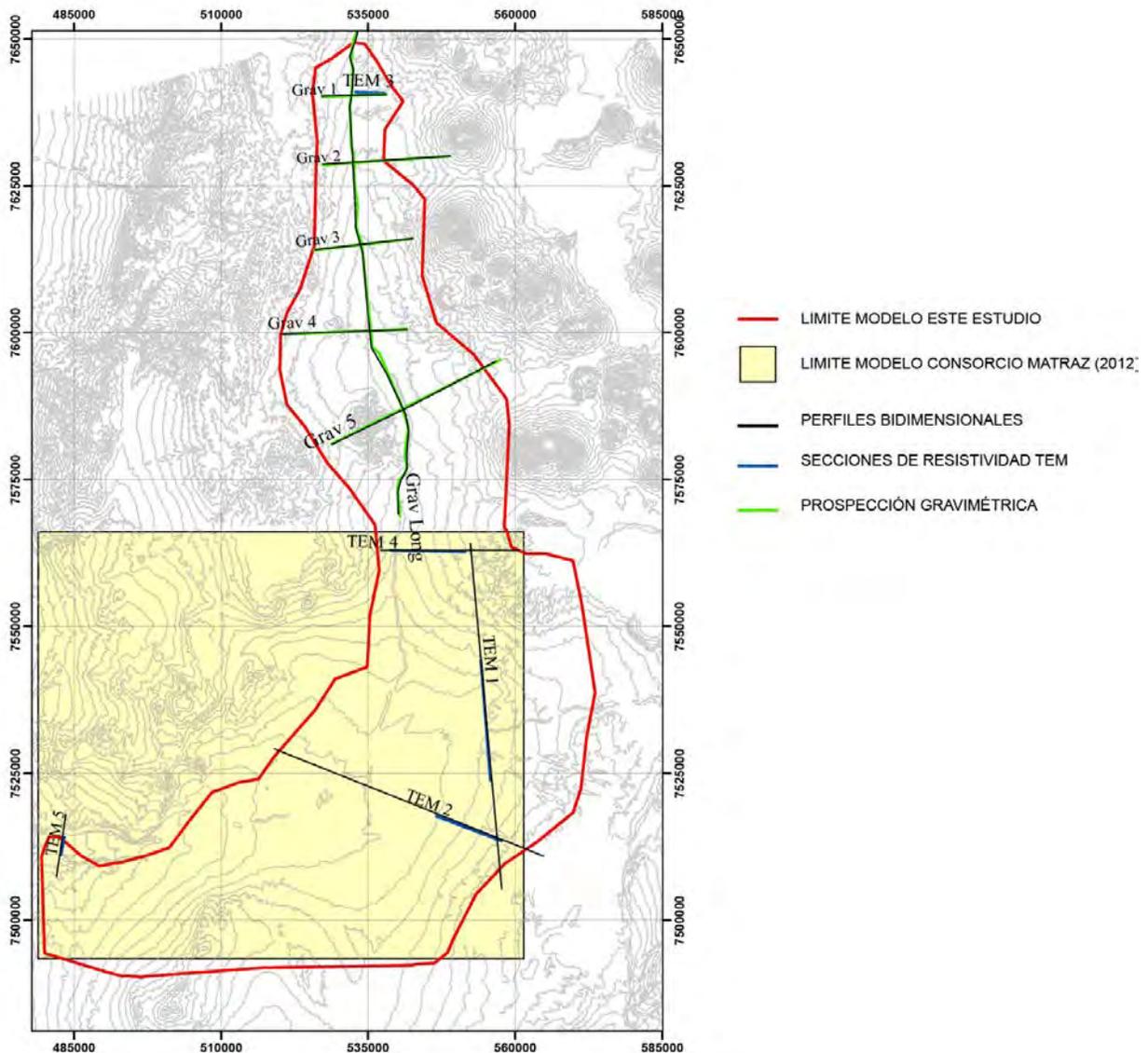
8.1 Límites del Dominio

Con el objetivo de dar al modelo hidrogeológico tridimensional una condición de borde natural, equivalente al contacto entre basamento y relleno, se utilizó como límite lateral del dominio el contacto en superficie entre roca y sedimentos no consolidados.

Para esto se utilizó la información proveniente de la geología e hidrogeología de superficie, junto con la interpretación de los perfiles TEM 1, 2, 4 y 5 desarrollados durante el presente estudio. Esto originó que los límites laterales del modelo hidrogeológico tridimensional se extendieran entre 10 y 17 km hacia el Este y 80 km al Norte por el valle del río Loa en relación con los límites laterales del modelo numérico desarrollado por Consorcio Matraz (2012).

Los límites del modelo hidrogeológico tridimensional utilizado en este estudio se indican en la Figura 22.

Figura 22 Límites del Modelo Hidrogeológico Tridimensional (fuente elaboración propia)



8.2 Perfiles Bidimensionales

Con el objetivo de generar la geometría tridimensional de las unidades que conforman el modelo hidrogeológico, en una primera etapa se generaron perfiles bidimensionales de estas unidades.

Para definir la ubicación de los perfiles bidimensionales se consideró la orientación y extensión de las secciones de resistividad generadas durante el presente estudio (ver apartado 6.1.3), de tal manera de dar continuidad lateral tridimensional a los perfiles bidimensionales.

Para la interpretación de los perfiles bidimensionales se consideró las unidades litoestratigráficas expuestas en superficie, y los resultados de la prospección geofísica TEM (secciones de resistividad) y gravimétrica (mapa de anomalía de Bouguer residual). Estos permiten caracterizar la estratigrafía y unidades hidrogeológicas en subsuperficie.

La ubicación de los perfiles bidimensionales generados y su relación con las prospecciones geofísicas realizadas como parte del presente estudio se ilustra en la Figura 23. Los perfiles bidimensionales se señalan en las figuras 23 a 32.

Figura 23 Perfil Bidimensional Sección TEM 1

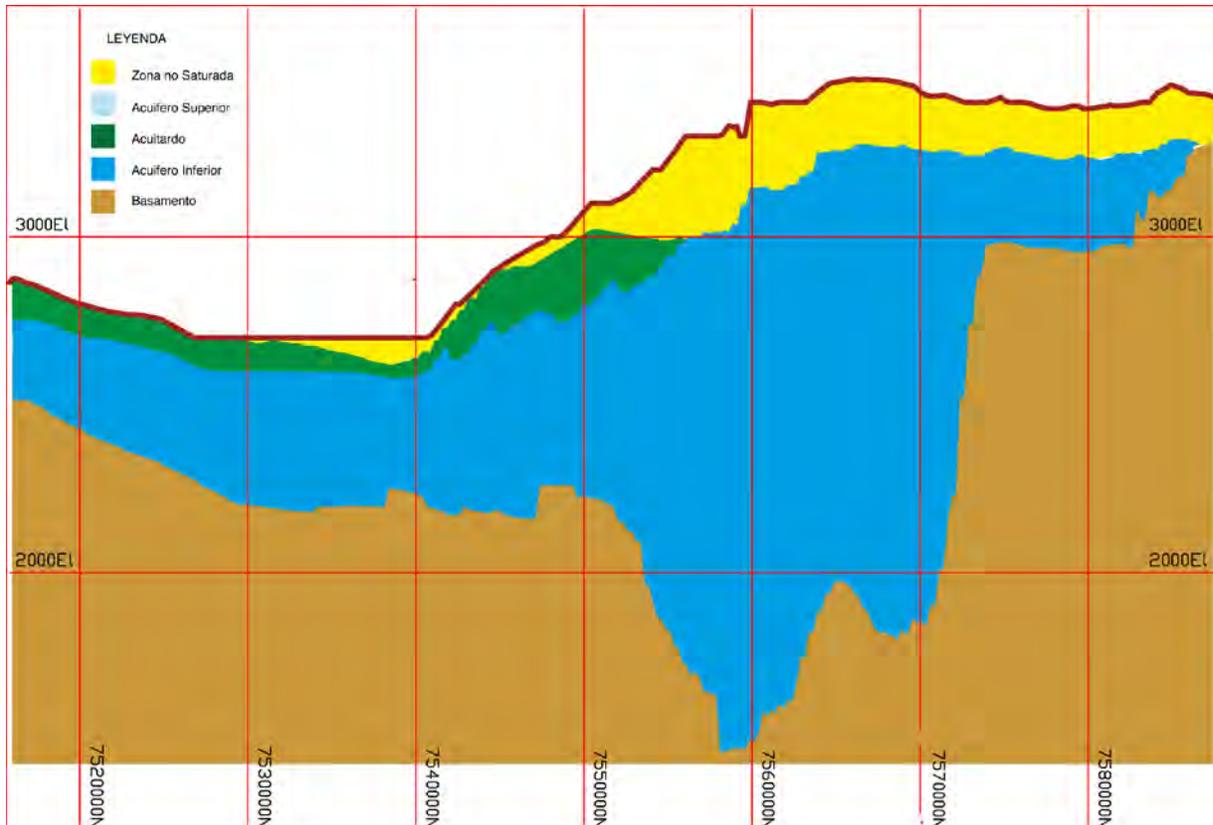


Figura 24 Perfil Bidimensional Sección TEM 2

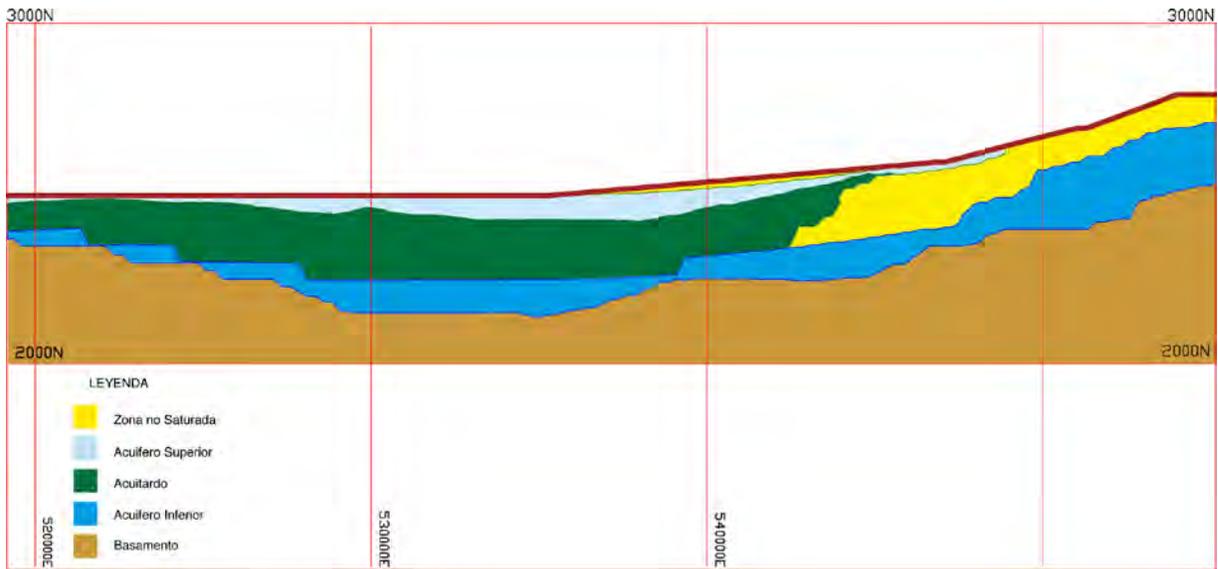


Figura 25 Perfil Bidimensional Sección TEM 3

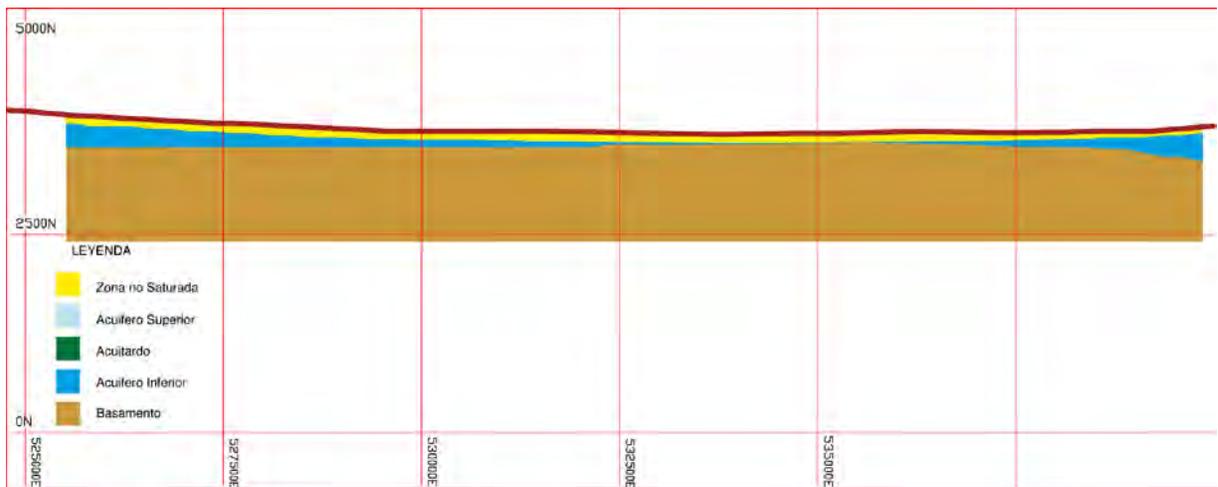


Figura 26 Perfil Bidimensional Sección TEM 4

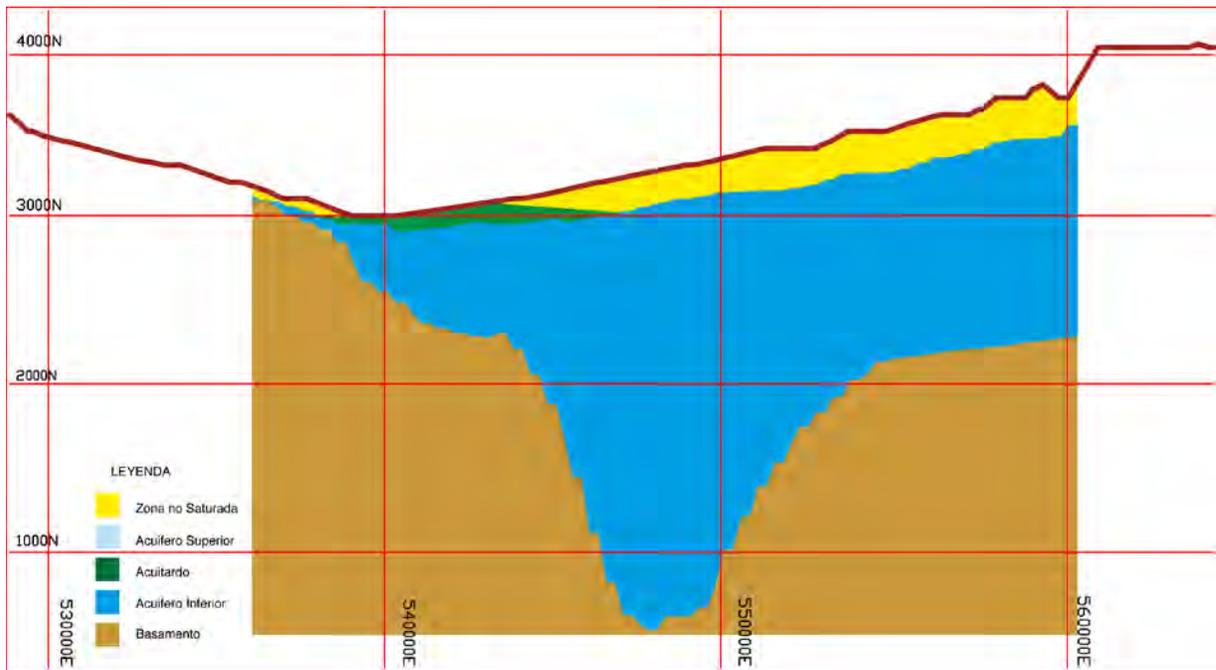


Figura 27 Perfil Bidimensional Sección TEM 5

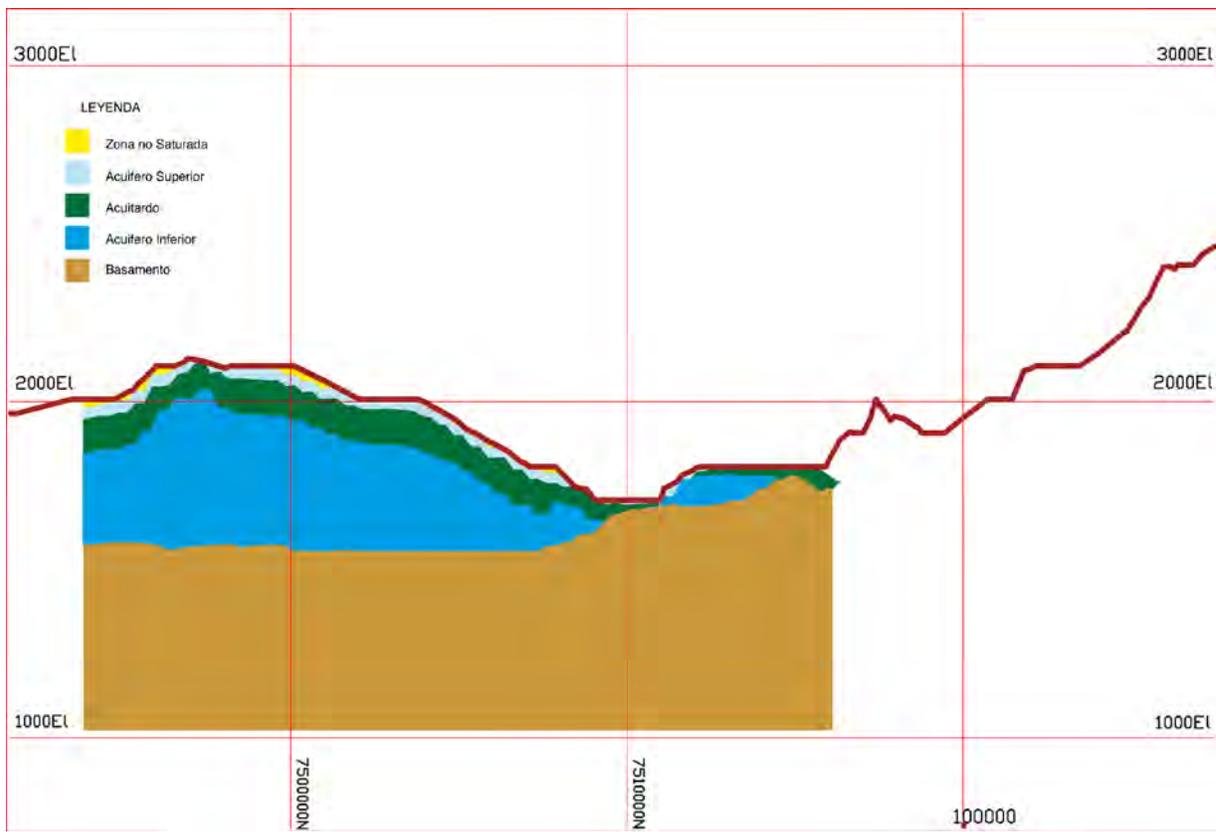


Figura 28 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional Longitudinal

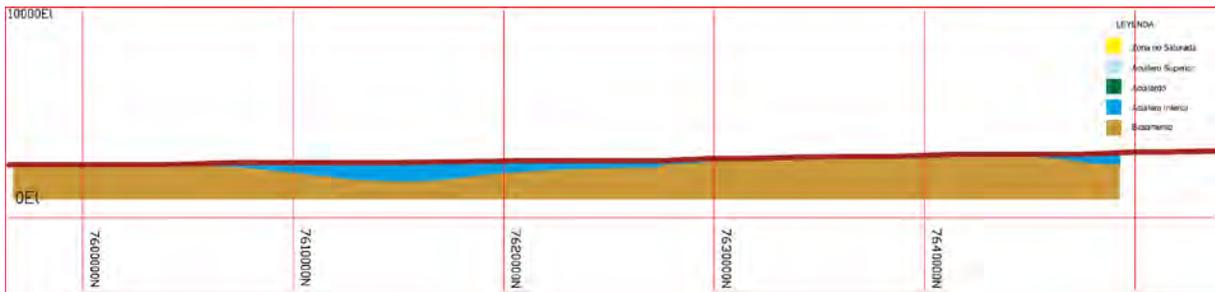


Figura 29 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 1

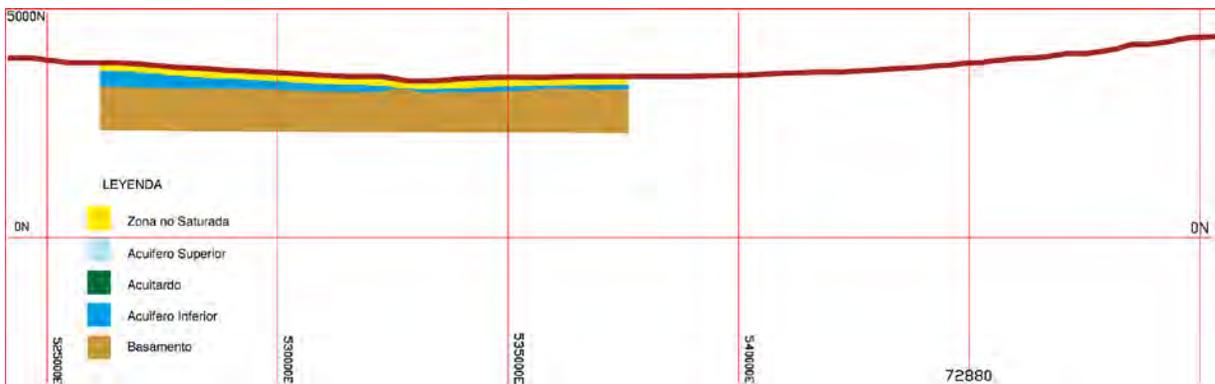


Figura 30 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 2

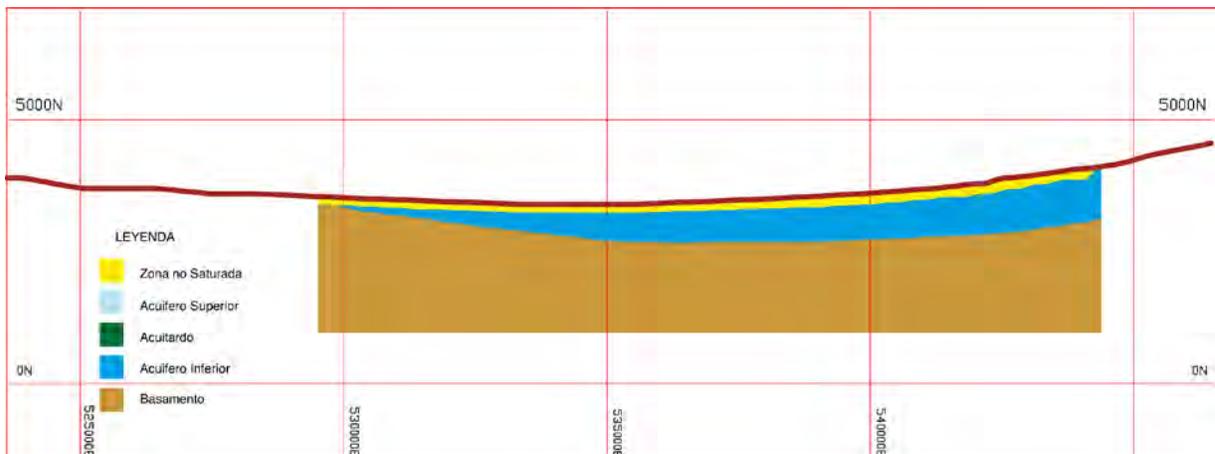


Figura 31 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 3

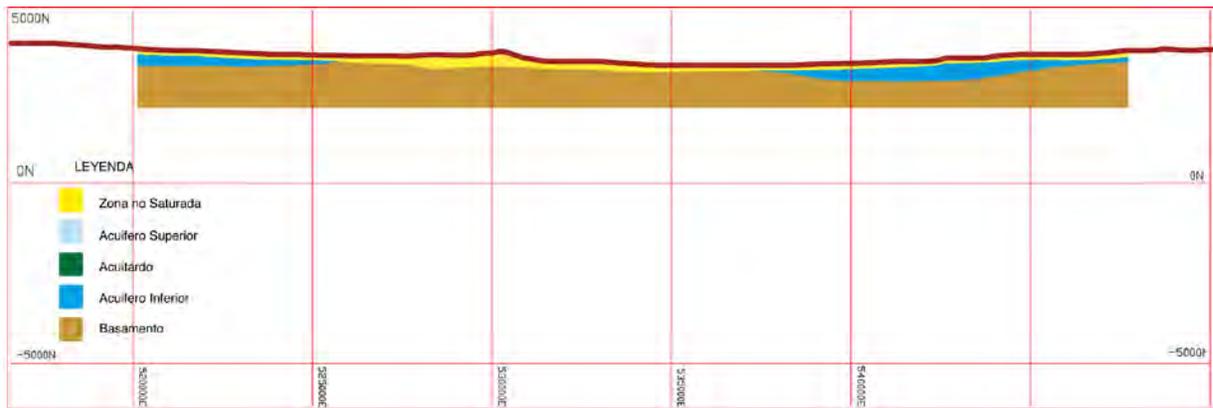
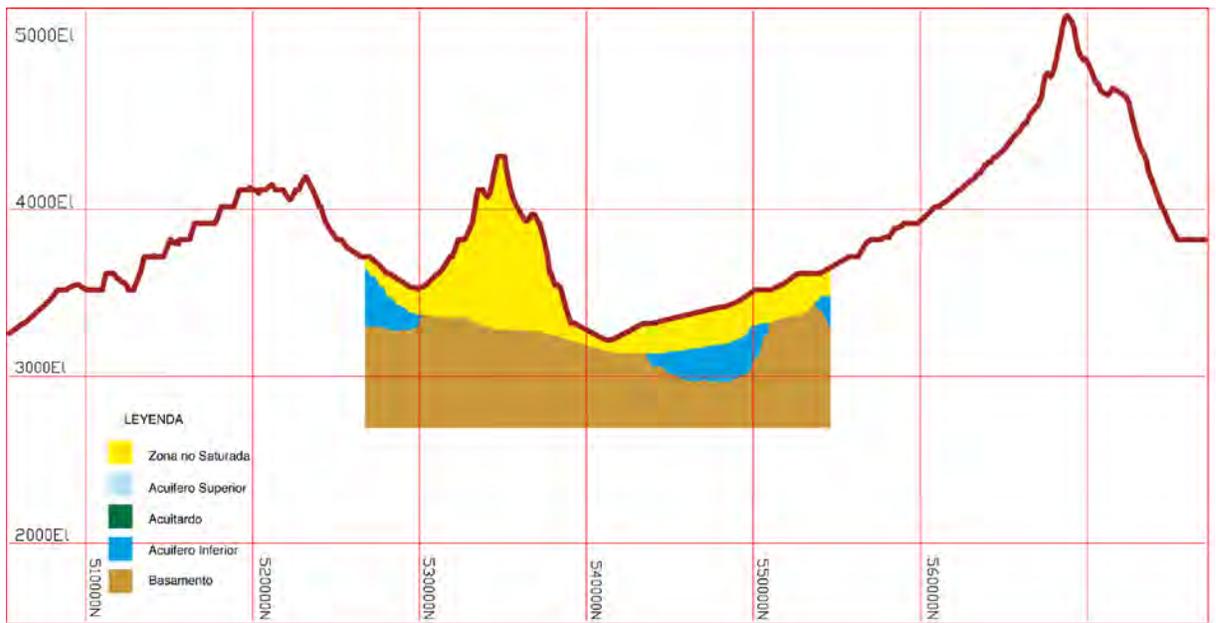


Figura 32 Perfil Bidimensional Sección Gravitacional 4



8.3 Geometría de Unidades Acuíferas

8.3.1 Contacto Basamento - Relleno

Para la determinación de la geometría de esta unidad se utilizó los datos de registros de sondajes en la cuenca, los que indican que los sedimentos asignados a la Fm Calama y más jóvenes se presentan no litificados y con mediana consolidación, siendo asimilables al relleno, mientras que rocas asignadas a unidades más antiguas se encuentran litificadas, por lo que son asignables al basamento. Así, el contacto basamento-relleno en la parte central de la cuenca se asocia al piso de la Fm Calama.

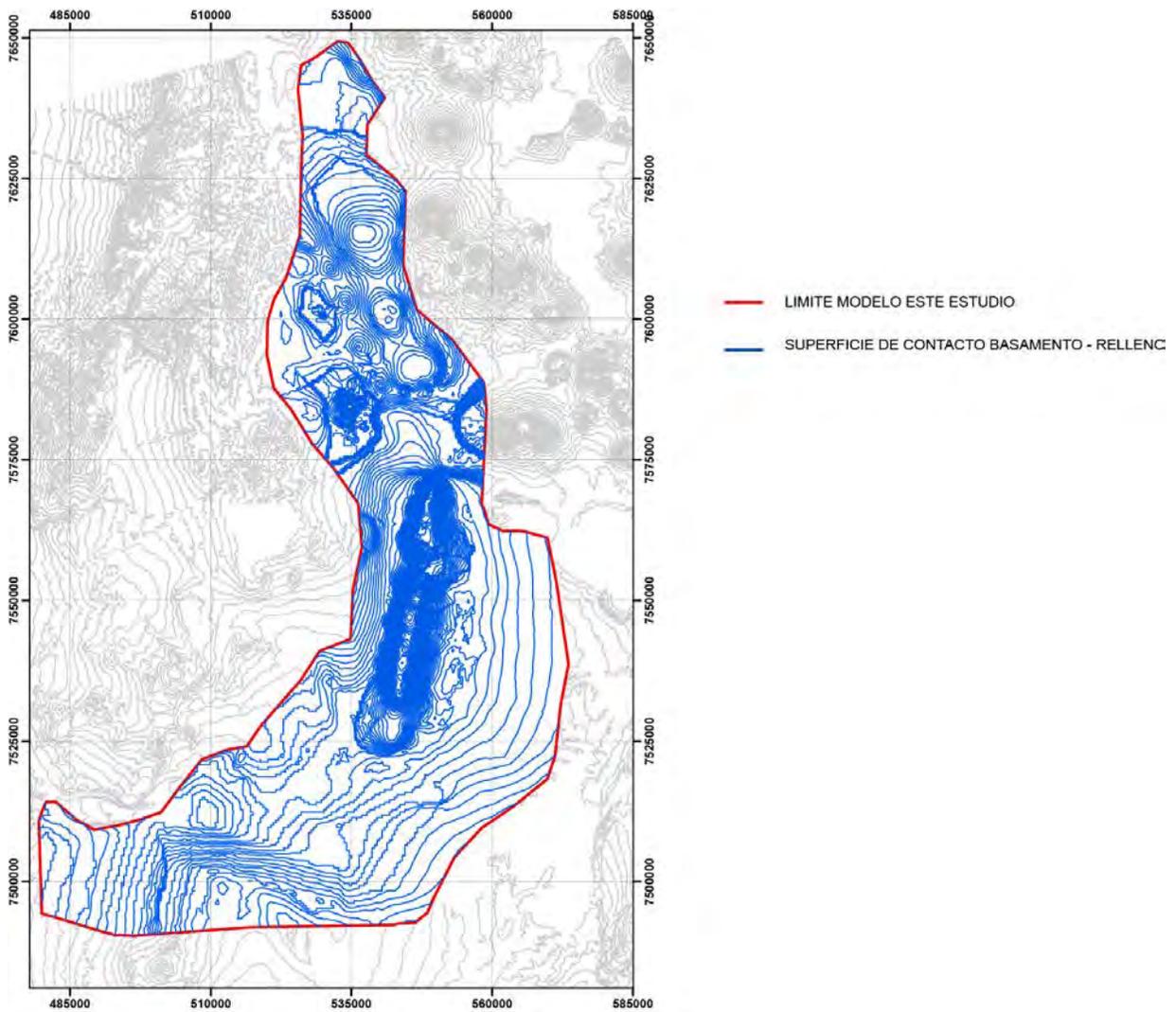
Por otra parte, se utilizó como condición de borde del contacto basamento-relleno el contacto en superficie entre unidades de roca y sedimentos no consolidados.

Se observa una buena correlación entre el contacto basamento-relleno interpretado a partir de la sección de resistividad asociada al perfil TEM-5 realizado durante el presente estudio con esta superficie definida por Consorcio Matraz (2012).

En el sector oriental del modelo (perfiles TEM-1, TEM-2 y TEM-4), en cambio, postulamos que esta superficie se encuentra entre 200-300 m más profundo de lo estimado por Consorcio Matraz (2012). Esta diferencia de elevación se postula se debe a una subestimación por parte de Consorcio Matraz de la subsidencia del bloque oriental que generó una cuenca tipo hemigraben, con un depocentro de sedimentación aluvial de aproximadamente 1.500 m (ver apartado 4.2.2).

La superficie del contacto basamento-relleno se observa en la Figura 33 a continuación:

Figura 33 Isopacas del contacto Basamento-Relleno



8.3.2 Acuífero Inferior

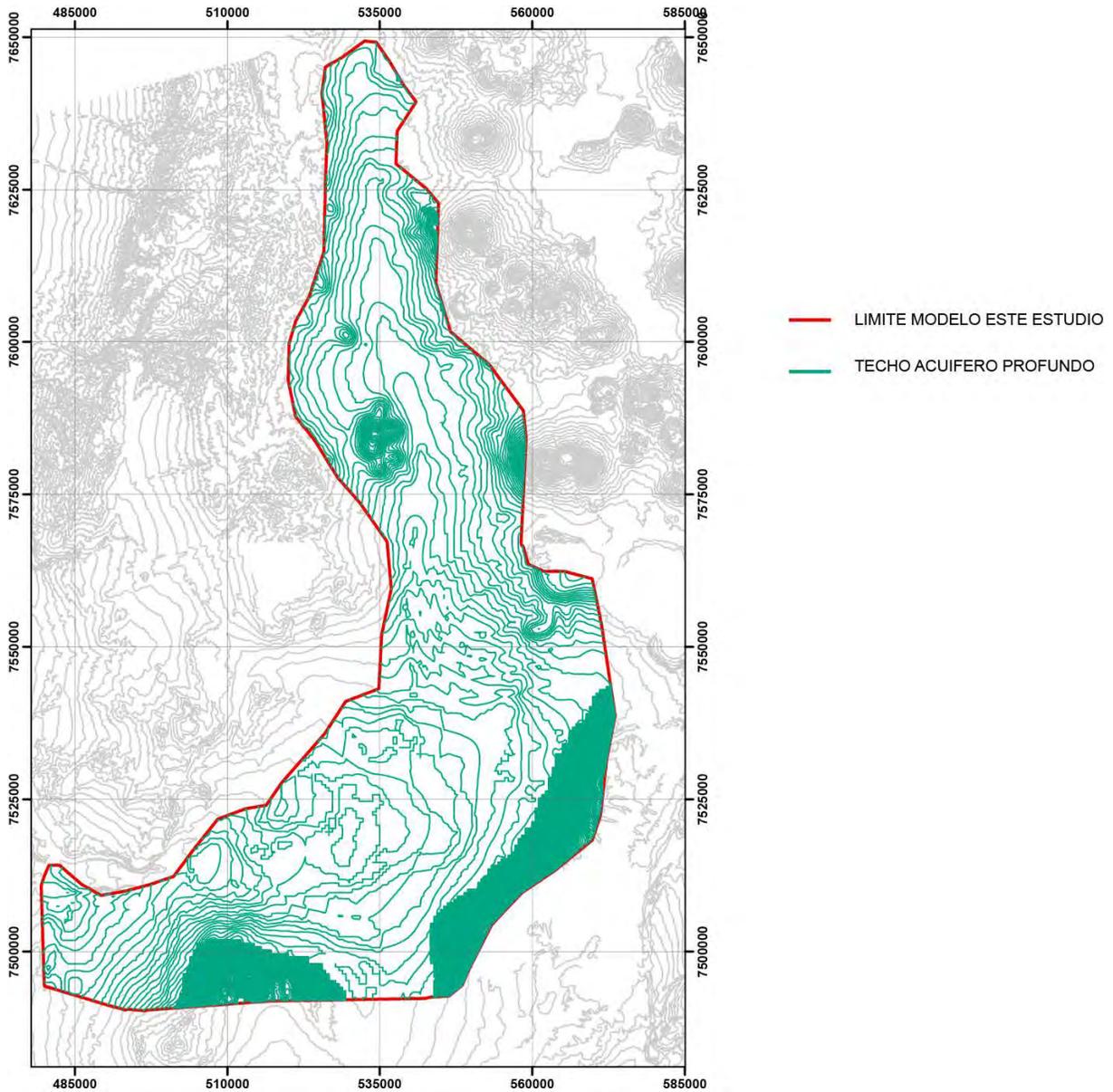
Esta unidad se ubica inmediatamente por sobre el basamento rocoso y se extiende prácticamente por toda el área de estudio.

Se observan diferencias del orden de 50m entre la superficie del techo de esta unidad definida por Consorcio Matraz (2012) con las interpretaciones de las secciones de resistividad realizadas a partir de los resultados de los perfiles TEM ejecutados en el presente estudio, diferencias que son caracterizadas como una buena correlación a la escala del estudio.

No obstante, hacia los bordes del valle, en aquellas zonas donde el basamento se encuentra relativamente somero, la superficie del techo de esta unidad definida por Consorcio Matraz (2012) se ubica aproximadamente 150m sobre idéntica superficie

modelada en el presente estudio. Esta diferencia estimamos está relacionada con las diferencias en la estimación de la profundidad del basamento rocoso (ver apartado 8.3.1).

Figura 34 Techo acuífero profundo



Los resultados del modelamiento permiten estimar para esta unidad un volumen total de:

$$V_{\text{acuífero inferior}} = 1,7 \times 10^{12} \text{ m}^3$$

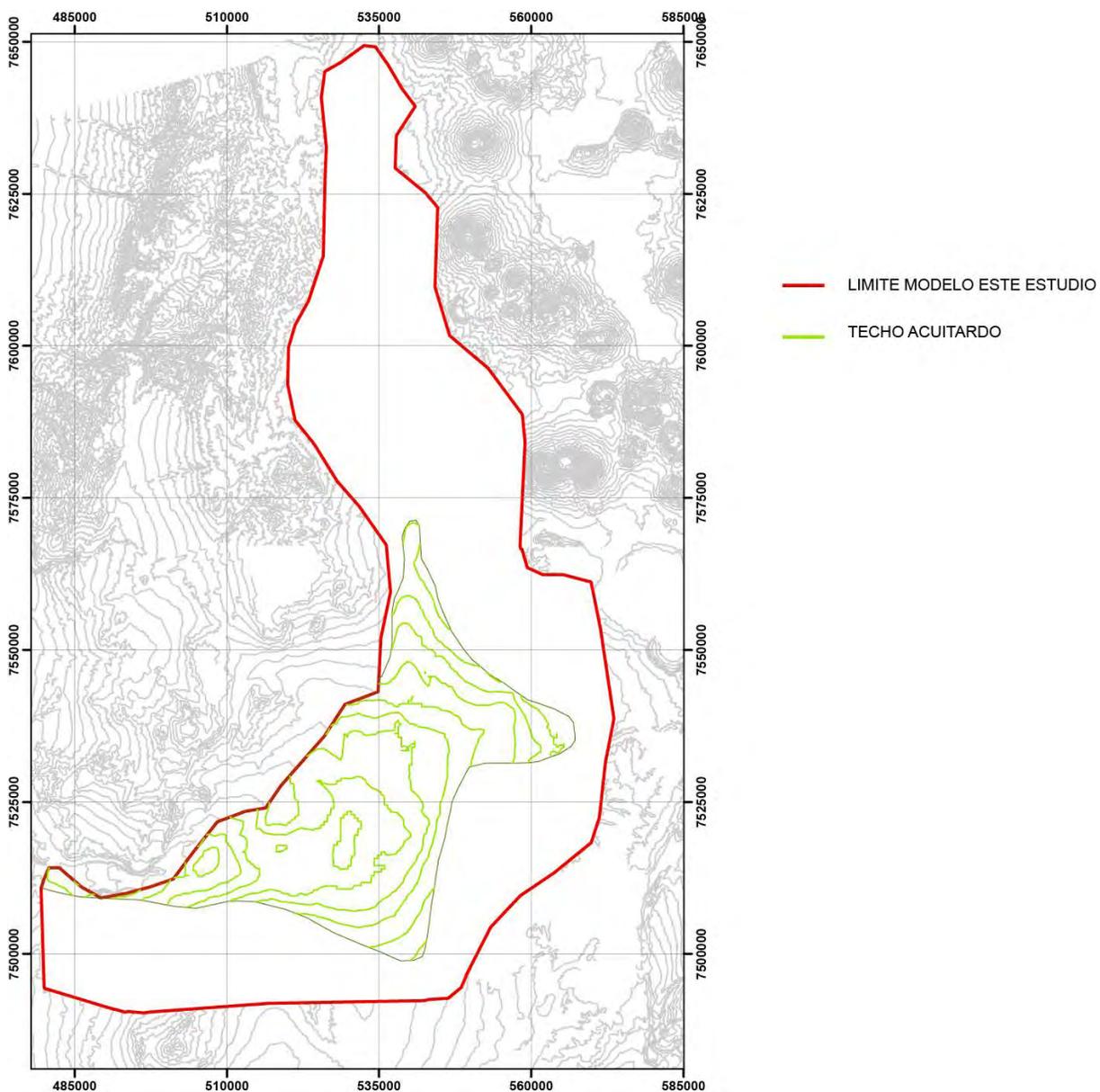
Este volumen está controlado por la subsidencia del bloque oriental que generó una cuenca tipo hemigraben, con un depocentro de sedimentación aluvial de aproximadamente 1.500 m (ver apartado 4.2.2).

8.3.3. Acuitardo

Sobre el acuífero profundo descrito anteriormente se ubica un acuitardo. Este se observa en la sección central y sur de la cuenca, acuniéndose hacia el norte. Esto es consistente con el borde norte de la Cuenca Terciaria Calama, descrito a los 22°S (Blanco, 2008).

Entre Chiu-Chiu y Calama se encuentra cubierto por el acuífero superficial.

Figura 35 Techo Acuitardo



8.3.4 Acuífero Superficial

Esta unidad aflora en superficie desde el límite occidental del área de estudio, disminuyendo su espesor progresivamente hacia el este, hasta aproximadamente la localidad de Chiu-Chiu, lugar donde se acuña. Esto es consistente con el adelgazamiento reportado hacia el oriente para los carbonatos palustres de las Fm Opache y Chiquinaputo, unidades donde en parte se emplaza la unidad acuífera superior, y que se acuñan en la Quebrada Yalqui (ver Figura 22, apartado 7.1.3).

La geometría de la superficie fue extraída de Consorcio Matraz (2012), realizándose una modificación a los bordes orientales de acuerdo con la interpretación de las secciones de resistividad asociadas a los perfiles TEM-2 y TEM-1 realizados durante el presente estudio.

Figura 36 Techo Acuífero Superficial



Los resultados del modelamiento permiten estimar para esta unidad un volumen total de:

$$V_{\text{acuífero superior}} = 5,6 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

De este volumen, más del 60% se concentra entre los 2400 y 2600 m.s.n.m.

8.4 Modelo Hidrogeológico Tridimensional

La integración de los perfiles bidimensionales en cuerpos tridimensionales permite señalar lo siguiente:

- En la zona central de la cuenca el contacto entre el basamento y relleno exhibe la topografía de una cuenca de hemigraben, con un depocentro de sedimentación,
- En la zona central, hasta los 22° Lat S se observa la presencia del acuitardo, el cual se acuña al norte. Exhibe su mayor potencia en las zonas centro y occidental,
- El acuífero superior se observa restringido a los sectores sur y oriental de la cuenca,
- El perfil gravitacional longitudinal en conjunto con los perfiles TEM 4 y TEM 3 permiten definir una unidad acuífera discontinua a lo largo del eje del Río Loa. Esta unidad acuífera se correlaciona con el Acuífero Inferior en la parte central de la Cuenca Calama, y se emplaza en forma superficial,
- La presencia de un alto en el basamento entre aproximadamente las coordenadas UTM Norte 7.630.000 y 7.645.000 (datum WGS84), evidenciado por la prospección gravimétrica, interrumpe la proyección de la unidad acuífera descrita en el punto anterior hacia el norte (ver figura 28),
- La existencia de una zona no saturada en el extremo norte del Área de Estudio (perfil bidimensional TEM 3) sugiere que el acuífero en esta zona se emplaza, en parte, bajo la unidad de Ignimbritas del Mioceno. Esto es consistente con la hidrogeología de la unidad acuífera descrita en el sector de Pampa Puno.

9 VOLUMEN EMBALSADO

9.1 Acuífero Superficial

Sobre la base de un volumen estimado para esta unidad de $5,6 \times 10^{10} \text{ m}^3$ (ver apartado 8.3.4) y un Coeficiente de Almacenamiento de $1,2 \times 10^{-4}$ a $1,6 \times 10^{-2}$ (ver apartado 5.2.4.5.2), se estima el siguiente volumen embalsado:

$$V_{\text{embalsado acuífero superior}} = 6,72 \times 10^6 \text{ a } 8,96 \times 10^8 \text{ m}^3$$

9.2 Acuífero Inferior

Sobre la base de un volumen estimado para esta unidad de $1,7 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (ver apartado 8.3.4) y un Coeficiente de Almacenamiento de 3×10^{-5} a $6,9 \times 10^{-1}$ (ver apartado 5.2.4.5.2), se estima el siguiente volumen embalsado:

$$V_{\text{embalsado acuífero inferior}} = 2,04 \times 10^8 \text{ a } 1,17 \times 10^{12} \text{ m}^3$$

10 POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

La Cuenca de Calama exhibe un potencial hidrogeológico asociado a los siguientes:

- configuración endorreica de la cuenca
- generación de depocentros con espesores de relleno de sedimentos favorables para albergar reservorios de agua del orden de 2.500m,
- existencia de condiciones paleoclimáticas favorables para la recarga de las unidades acuíferas, y
- existencia de unidades hidrogeológicas confinadas en reservorios

Las principales zonas de potencial hidrogeológico son:

- el depocentro de aproximadamente 2.500 m generado durante el Oligoceno-Mioceno Inferior, y rellenado con una secuencia aluvial asociada a la Fm. Yalqui (Jordan et al, 2006; Blanco, 2008),
- el relleno sedimentario a tasas de 43 m/Ma en el centro de la Cuenca durante el Mioceno Inferior a Superior Bajo (Fms El Yeso, Jalquinche y Lasana).
- el relleno sedimentario a tasas de sedimentación entre 17-27 m/Ma durante el Mioceno Superior al Plioceno (Fms. Opache y Chiquinaputo), originados por una red hidrológica similar a la actual en la que dos cauces fluviales convergen al centro de la cuenca.

Se debe notar que los registros de sondajes en la cuenca indican que los sedimentos asignados a la Fm Calama y más jóvenes se presentan no litificados y con mediana consolidación, mientras que rocas asignadas a unidades más antiguas se encuentran litificadas.

Considerando que los tres períodos relativamente húmedos reportados para la cuenca pueden haberse comportado como recarga hídrica para los potenciales reservorios, se tiene que los reservorios potenciales principales se asocian a las facies de gravas de las formaciones Yalqui, Lasana y Chiquinaputo. Estas potenciales unidades reservorio se formaron cuando la cuenca se estima presentaba condiciones endorreicas, las que posteriormente cambiaron a exorreicas durante el Plioceno Superior alto-Pleistoceno.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Conclusiones

11.1.1 Hidrogeología Local

En el área de estudio se verifica la presencia de las siguientes zonas donde se ha realizado exploración hidrogeológica: Pampa Puno, Polapi, San Pedro y Yalqui.

Pampa Puno se ubica en las cercanías del extremo Norte de la Cuenca. Resultados de la revisión de la estratigrafía y habilitación de 23 pozos de extracción en este sector indican la existencia de una unidad acuífera, emplazada en gravas semiconsolidadas de edad Terciaria asociadas a la Fm Papajoy, las que subyacen a la unidad Ignimbritas del Mioceno. El espesor es variable, con una potencia promedio de 350 metros y un espesor máximo, en la parte central de la cuenca, cercano a los 700 metros. Resultados de la medición de niveles en pozos en el sitio indican que el nivel estático se encuentra a una profundidad entre 45 y 100 m aproximadamente, equivalentes a una elevación entre 3.940 y 4.146 m.s.n.m. Resultados de pruebas de bombeo realizadas en 9 pozos, analizadas utilizando el método de Jacob para abatimiento y recuperación, indican que la transmisividad en la zona central de la cuenca se encuentra entre 200 a 1.000 m²/día. La recarga del acuífero se asocia principalmente a infiltración de precipitaciones nivales y pluviales. La precipitación efectiva media anual es de 97 mm/año. La dirección de flujo es desde las zonas apicales ubicadas al oeste de la cuenca hacia el norte y oriente de la cuenca. La descarga se produce hacia el sector de Pampa Yocas. El volumen embalsado estimado es de $2,40 * 10^6$ m³.

Polapi se ubica entre las coordenadas UTM N 7.590.000 y 7.600.000, y E 550.000 y 560.000 aproximadamente. Resultados de prospecciones geofísicas realizados para exploración de aguas subterráneas, así como también de descripciones estratigráficas obtenidas de pozos en el área indican la existencia de una unidad acuífera continua, confinada a semi confinada. Esta se emplaza en arenas gruesas y gravas mediana a pobremente consolidadas. Se encuentra por lo general por debajo de los 150 metros de profundidad, y presenta un espesor promedio de 200 m, alcanzando en algunos sectores hasta 300 m. Mediciones de nivel estático en pozos indican profundidades de la superficie piezométrica entre 125 a 170 metros bajo la superficie, equivalente a entre 3.319 y 3.749 m.s.n.m. Resultados de tres pruebas de bombeo realizados en un pozo de extracción, calculados mediante los métodos de Cooper-Jacob y Theis, indican valores de Transmisividad entre 220 a 265 m²/d, y un Coeficiente de Almacenamiento de $2,4 * 10^4$. La recarga se asocia a infiltración de precipitaciones nivales y pluviales, estimada en 445,1 l/s, así como a flujos subterráneos y aportes de otros sectores por caudal pasante. Se estima un volumen almacenado, sobre la base de perfiles geofísicos TEM de $2,45 * 10^9$ m³

San Pedro o Inacalari se ubica entre las coordenadas UTM N 7.560.000 y 7.580.000, y E 560.000 y 580.000. Resultados de la descripción estratigráfica de pozos de extracción en el sitio indican la existencia de una unidad acuífera libre, emplazada en gravas, arenas y limos. Resultados de mediciones de niveles en los pozos de extracción en el sitio indican que la superficie freática se ubica entre 2 a 24 m de profundidad, equivalente a entre 3.800 y 3.802 m.s.n.m. Resultados de Pruebas de Bombeo indican valores de Conductividad Hidráulica entre $2,08 * 10^{-2}$ y 1,97 cm/s, y Coeficiente de Almacenamiento entre $7,60 * 10^{-4}$ y $3,40 * 10^{-1}$.

Yalqui se ubica en el extremo sur del Área de Estudio, y en esta se verifica la presencia de dos unidades acuíferas, correspondientes al Acuífero Superior Kárstico-Detrítico El Loa, y un Acuífero Inferior. El Acuífero Superior es un acuífero predominantemente libre, y se emplaza en rocas kárstico-arenosas, depósitos limo-arcillosos y depósitos de arenas negras, los que exhiben una potencia entre 30 y 130 m. El Acuífero Inferior es un acuífero semiconfinado a confinado, y se emplaza en depósitos no consolidados de gravas aluviales, depósitos de piedemonte y depósitos aluviales, los que alcanzan potencias de hasta 300 metros. Entre ambos acuíferos se verifica la presencia de un acuitardo ignimbrítico y detrítico, formado por la Ignimbrita Artola, con una potencia de hasta 50m, y depósitos limo-arcillosos, arenosos y lavas volcánicas con una potencia de hasta 300 m. La superficie freática del Acuífero Superior se desarrolla entre los 2.600 y 2.150 m.s.n.m. con una dirección del flujo subterráneo desde el noreste al suroeste, y gradientes hidráulicos entre 2% a 6 ‰. La superficie piezométrica del Acuífero Inferior se desarrolla entre los 2.100 a 2.600 m.s.n.m., con una dirección de flujo desde el noroeste hacia el sureste, y gradiente hidráulico entre 5% a 4‰. La Conductividad Hidráulica del Acuífero Inferior se encuentra entre $1,16 \times 10^{-5}$ a $1,39 \times 10^{-1}$ cm s^{-1} mientras que la del Acuífero Superior se encuentra entre $1,74 \times 10^{-6}$ a $3,58 \times 10^{-1}$ cm s^{-1} , mientras que el Coeficiente de Almacenamiento del Acuífero superior se encuentra entre $1,2 \times 10^{-4}$ a $1,6 \times 10^{-2}$ y el del Acuífero Inferior entre 3×10^{-5} a $6,9 \times 10^{-1}$.

11.1.2 Prospecciones Geofísicas y Modelamiento Hidrogeológico Tridimensional

Resultados de 105 prospecciones TEM en 5 perfiles realizadas durante el presente estudio permiten caracterizar una superficie de contacto entre una zona no saturada y una zona saturada. La elevación de esta superficie se correlaciona con el techo de la unidad acuífera inferior definida por Consorcio Matraz (2012). En las prospecciones TEM realizadas durante el presente estudio no se observa la unidad acuífera superior descrita por Consorcio Matraz (2012), lo que es consistente con el adelgazamiento reportado hacia el oriente para los carbonatos palustres de las Fm Opache y Chiquinaputo, unidades donde en parte se emplaza la unidad acuífera superior. La zona no saturada observada en las prospecciones TEM durante el presente estudio se asigna a unidades desde las Fms Jalquinche a Chiquinaputo, las que se comportan como capa confinante.

Resultados de un modelamiento hidrogeológico tridimensional realizado con una condición de borde natural, equivalente al contacto entre basamento y relleno (contacto en superficie entre roca y sedimentos no consolidados), y utilizando la información proveniente de la geología e hidrogeología de superficie, junto con la interpretación de los perfiles TEM desarrollados durante el presente estudio, indican una buena correlación entre el contacto basamento-relleno caracterizado durante el presente estudio con esta superficie definida por Consorcio Matraz (2012) excepto en el sector oriental del modelo (perfiles TEM-1, TEM-2 y TEM-4), donde se encuentra entre 200-300 m más profundo de lo estimado por Consorcio Matraz (2012); esta diferencia se postula se debe a una subestimación por parte de Consorcio Matraz de la subsidencia del bloque oriental que generó una cuenca tipo hemigraben con un depocentro de sedimentación aluvial de aproximadamente 1.500 m.

Resultados del modelamiento hidrogeológico tridimensional indican que el acuífero inferior se ubica inmediatamente por sobre el basamento rocoso y se extiende prácticamente por toda el área de estudio. Se observa una buena correlación a la escala del estudio entre la superficie del techo de esta unidad definida por Consorcio Matraz (2012) con las interpretaciones de las secciones de resistividad realizadas a partir de los resultados de

los perfiles TEM ejecutados en el presente estudio. No obstante, hacia los bordes del valle, en zonas donde el basamento se encuentra relativamente somero, la superficie del techo de esta unidad definida por Consorcio Matraz (2012) se ubica aproximadamente 150m sobre idéntica superficie modelada en el presente estudio, diferencia que estimamos está relacionada con las diferencias en la estimación de la profundidad del basamento rocoso. Sobre el acuífero profundo descrito anteriormente se ubica un acuitardo. Entre Chiu-Chiu y Calama se encuentra cubierto por el acuífero superficial. El Acuífero Superficial aflora en superficie desde el límite occidental del área de estudio, disminuyendo su espesor progresivamente hacia el este donde se acuña.

11.1.3 Estimación de Volúmenes Embalsados

Los volúmenes estimados para las unidades acuíferas a partir de la integración de las superficies bidimensionales en cuerpos tridimensionales y los valores de Coeficiente de Almacenamiento permiten estimar los siguientes volúmenes embalsados:

$$\begin{aligned} V_{\text{embalsado acuífero superior}} &= 6,72 \times 10^6 \text{ a } 8,96 \times 10^8 \text{ m}^3 \\ V_{\text{embalsado acuífero inferior}} &= 2,04 \times 10^8 \text{ a } 1,17 \times 10^{12} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

11.1.4 Potencial Hidrogeológico

La Cuenca de Calama exhibe un potencial hidrogeológico asociado a la generación de depocentros durante el Oligoceno a Mioceno Inferior, con espesores de relleno de sedimentos favorables para albergar reservorios de agua superiores a 2.500 m. Estos se generaron en condiciones confinadas, en una configuración endorreica, la que cambió a exorreica durante el Plioceno Superior alto-Pleistoceno. La existencia de condiciones paleoclimáticas húmedas favorables permite asignar un potencial hidrogeológico a estas unidades.

11.2 Recomendaciones

Se recomienda explorar el potencial hidrogeológico profundo de la cuenca mediante una campaña de exploración geofísica con la metodología Audio Magneto Telúrico (AMT STRATAGEM). Esta utiliza los campos electromagnéticos naturales para determinar la conductividad eléctrica del subsuelo, permitiendo una adquisición de datos hasta los 1.000m de profundidad.

12 BIBLIOGRAFÍA

Arriagada, C.; Roperch, P.; Apódosis, C., 2000. Clockwise block rotations along the eastern border of the Cordillera de Domeyko, Northern Chile (22°45'–23°30'S). *Tectonophysics* 326: 153–171.

Blanco, N.; Tomlinson, A.J.; Mpodozis, C.; Perez d'Arce, C.; Matthews, S. 2003. Formación Calama, Eoceno, II Región de Antofagasta (Chile): estratigrafía e implicancias tectónicas. *In* Congreso Geológico Chileno No. 10, Actas, C.D. ROM Universidad de Concepción. Concepción.

Blanco, N., 2008. Estratigrafía y Evolución Tectono-Sedimentaria de la Cuenca Cenozoica de Calama (Chile, 22° S). Tesis para optar al Grado de Master de Geología Experimental, Especialidad Estratigrafía y Sedimentología, Universidad de Barcelona.

Blanco, N.; Tomlinson, A., 2009. Carta Chiu Chiu, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 117: 54 p., 1 mapa escala 1:50.000. Santiago.

CODELCO, 2013. Informe Plan de Alerta Temprana (P.A.T.) del Sector Pampa Puno. Anexo A Habilitación y Estratigrafía de los Pozos. INF-HIDR-PP-2013

Consorcio Matraz Consultores-Universidad Politécnica de Cataluña, 2012. Estudio Acuífero de Calama, sector medio de la cuenca del Loa, Región de Antofagasta. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación. S.I.T. N° 295.

Dirección General de Aguas, 1980. Clasificación de Cuencas Hidrográficas de Chile

Dirección General de Aguas, 2009. Levantamiento Hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la zona norte de Chile, Regiones XV, I, II y III. S.I.T. N° 157. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. División de Estudios y Planificación.

Dirección Meteorológica de Chile. 2008. Guía Climatológica Práctica

Edwards R. G. Ingenieros Ltda., 1991. Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento. Preparado para el Departamento de Estudios de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

Errol L. Montgomery & Associates Ltda., 2009. Informe técnico: Resumen de los resultados del desarrollo y aplicación de un modelo de flujo de agua subterránea en la cuenca del río Loa en Calama, Chile. Calama, Minera El Tesoro.

Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, 2003. Estudio Hidrogeológico y Modelo de Simulación Sector Estación Polapi, II Región. Informe Técnico para Solicitud de Concesión de Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas (Expediente ND-02-022185)

Hoke, G.D.; Isacks, B.L.; Jordan, T.E.; Blanco, N.; Tomlinson, A.J.; Ramezani, J. 2007. Geomorphic evidence for post-10 Ma uplift of the western flank of the central Andes 18°30'–22°S. *Tectonics* 26, TC5021, doi: 10.1029/2006TC002082.

Houston, J.; Hart, D.; Houston, A. 2008. Neogene sedimentary deformation in the Chilean forearc and implications for Andean basin development, seismicity and uplift. *Journal of the Geological Society of London* 165: 291-306.

Ingeorec Ltda., 2001. Hidrología y Modelo de Simulación Pampa Puno. Presentado como parte del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno. División Codelco Norte de Codelco-Chile.

Jordan, T.E., Blanco, N., Dávila, F.M., & Tomlinson, A., 2006. Sismoestratigrafía de la Cuenca Calama (22°-23° LS), Chile. *Actas XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, II Región, Chile*. Páginas 53-56.

Longman, I.M., 1959. Formulas for Computing the Tidal Acceleration Due to the Moon and the Sun., *J. Geoph. Res.*, 1959, No. 64, pp. 2351– 2355.

Maksaev, V., 1990, Metallogeny, geological evolution, and thermochronology of the Chilean Andes between latitudes 21° and 26° south, and the origin of major porphyry copper deposits: Ph.D. Thesis (Unpublished), Dalhousie University, 554 p., Halifax, Nova Scotia, Canada.

Maksaev, V.; Zentilli, M., 1999. Fission track thermochronology of the Domeyko Cordillera, northern Chile: Implications for Andean tectonics and porphyry copper metallogenesis. *Exploration Mining Geology* 8: 65-89.

Marinovic, N.; Lahsen, A. 1984. Hoja Calama, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 58: 140 p., 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.

Mitchum, R.M., Jr.; Vail, P.R.; Sangree, J.B. 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration* (Payton, C.E.; editor). AAPG Memoir 26: 117-133

Pananont, P.; Mpodozis, C.; Blanco, N.; Jordan, T.E.; Brown, L.D. 2004. Cenozoic evolution of the northwestern Salar de Atacama Basin, northern Chile. *Tectonics*, 23, TC6007, doi:10.1029/2003TC001595

Ramírez, C.F.; Gardeweg, M. 1982. Hoja Toconao, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 54: 121 p., 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.

Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003. Mapa Geológico de Chile. Publicación Geológica Digital No. 4.

Struckmeier, W. F. & Margat, J., 1995: Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. - Verlag Heinz Heise, Hannover.

Tomlinson, A.; Blanco, N. 1997. Structural evolution and displacement history of the West Fault system, Precordillera, Chile: Part 1, synmineral history. *Congreso Geológico Chileno, N°8. 1997. Antofagasta, Chile. Actas.Vol. III. p. 1873-1877.*

Tomlinson, A., Blanco, N., Maksaev, V., Dilles, J., Grunder, A., Ladino, M., 2001. Geología de la Precordillera Andina de Quebrada Blanca-Chuquicamata, Región I y II (20°30' - 22°30' S). Volumen I Texto. Informe Registrado IR-01-20.

Tomlinson, A.J.; Blanco, N. 2008. Geología de la franja El Abra-Chuquicamata, II Región (21°45'-22°30'S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-35: 196 p., 5 mapas escala 1:50.000. Santiago.

Vozoff, K., 1991. The magnetotelluric method. In: Nabighian, M.N. (Ed.), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, vol. 2B. Soc. Explor. Geophys., Tulsa, OK, USA, pp. 641-711.

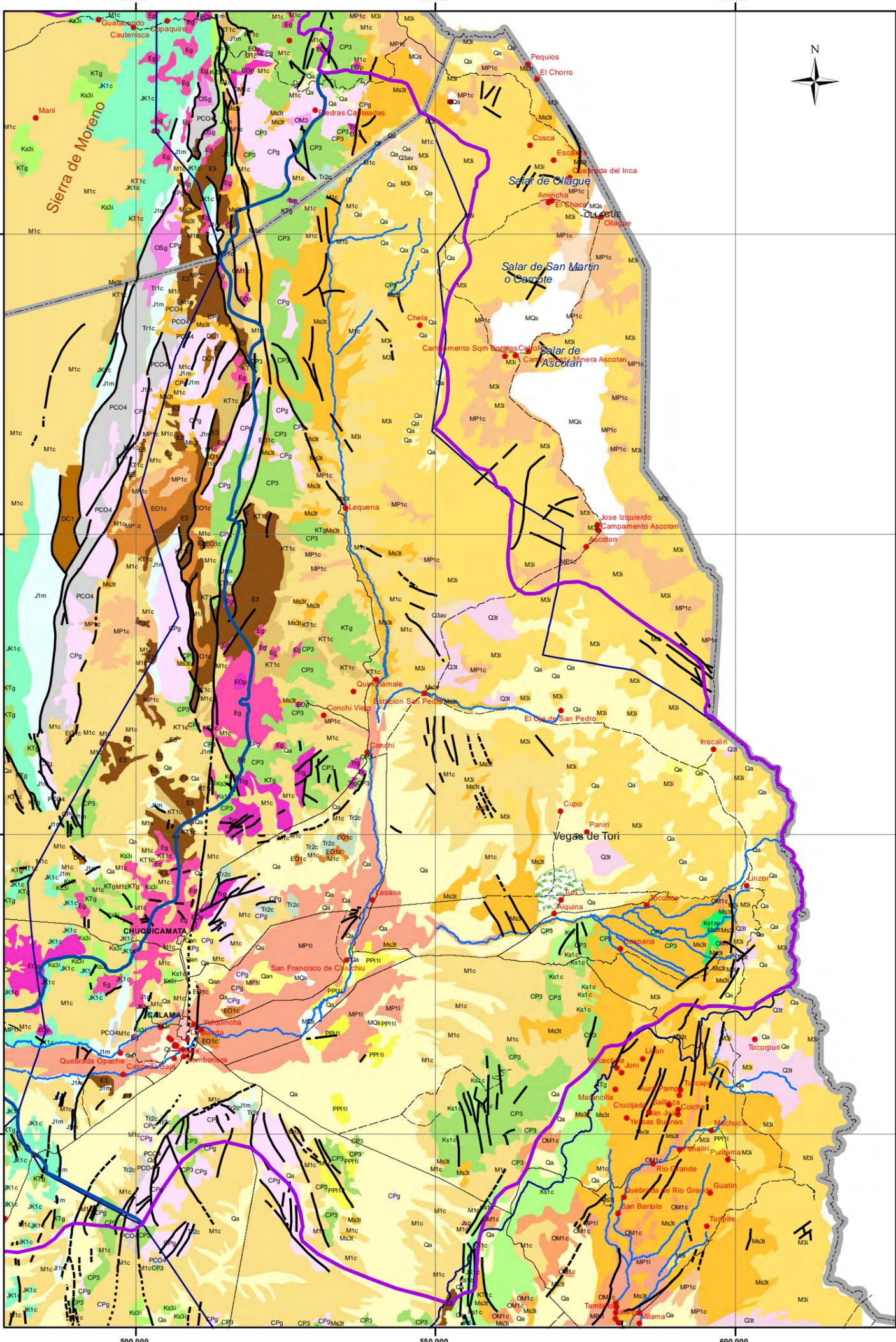
Nº de Plano 1 Geología

LITOLOGIA

Código	Edad/Unidad
MQs	Mioceno-Quaternario Depósitos Salinos
Qan	Holoceno Depósitos Antrópicos
Qa	Pleistoceno-Holoceno Depósitos Aluviales
Qe	Pleistoceno-Holoceno Depósitos Eólicos
Qf	Pleistoceno-Holoceno Depósitos Fluviales
Q3av	Pleistoceno-Holoceno Depósitos de Avalancha Volcánica
Q3t	Cuaternario Ignimbritas del Cuaternario
M3i	Mioceno Inferior-Reciente Estratovolcanes del Mioceno al Reciente
Ms3t	Mioceno Superior Ignimbritas del Mioceno
PP11	Plioceno-Pleistoceno Formación ChiuChiu
MP1c	Mioceno Superior-Plioceno Gravas del Mioceno-Plioceno
MP1l	Mioceno Superior-Plioceno Grupo El Loa
OM1c	Oligoceno-Mioceno Formación Altos de Pica, Papajoy
OM3	Oligoceno Superior Domo Quilaquila
M1c	Mioceno Inferior-Medio Formación Calama
EO1c	Eoceno-Oligoceno Formación Sical
EOp	Eoceno-Oligoceno Intrusivos Cupríferos
E3	Eoceno Formación Icanche
Eg	Eoceno Intrusivos no Mineralizados del Eoceno
Ks3i	Cretácico Superior Formación Cerro Empexa (superior)
Ks1c	Cretácico Superior Formación Cerro Empexa (inferior)
KT1c	Cretácico Superior-Terciario Inferior Formaciones Tolar y Tambillo
KTg	Cretácico Superior-Terciario Inferior Gabro Colorado, Gabro Antipasto, Complejo Granítico
Ks1m	Cretácico Superior Formación Lomas Negras y Estratos de Quebrada Blanca de Poquis
JK1c	Jurásico Superior - Cretácico Inferior Formación Quehueta (superior)
J11m	Jurásico-Neocomiano Formación Quehueta (inferior)
Jsg	Jurásico Medio a Superior Diorita-gabros Cerro Jaspé
J1m	Jurásico Medio a Superior Formación Quehueta (inferior)
CPg	Carbonífero-Pérmico Formación Collahuasi
DC1	Carbonífero-Pérmico Granodiorita y Monzodiorita Cuarzifera de Sierra de Moreno, Metaintrusivos y Rocas metamórficas de Cerros de Chuquicamata
OSg	Devónico-Carbonífero Cuarzitas y filitas de Cerro El Aroma y Estratos de Quebrada Atahualpa
PCO4	Ordovícico-Silúrico Dioritas de Sierra de Moreno
CP3	Pre cámbrico-Ordovícico Complejo Metamórfico de Sierra de Moreno

Estructuras Geológicas

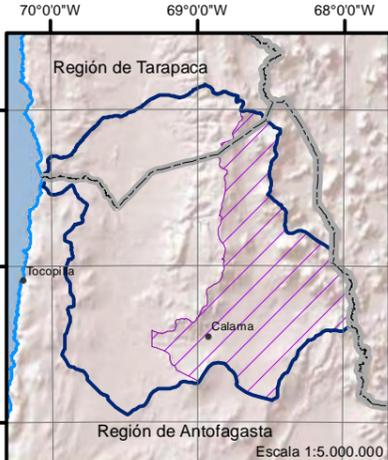
- Observado
- - - Inferido
- Cubierto
- · · · · Fotointerpretación



Legenda

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| Topografía Base | Limites Administrativos |
| — Río | — Internacional |
| — Cuerpos Agua | — Regional |
| — Vega | — Cuenca Río Loa |
| — Cuidades | — Area de Estudio |
| • Localidades | |
| — Camino Pavimentado | |
| — Camino Ripio | |

Esquicio área de estudio



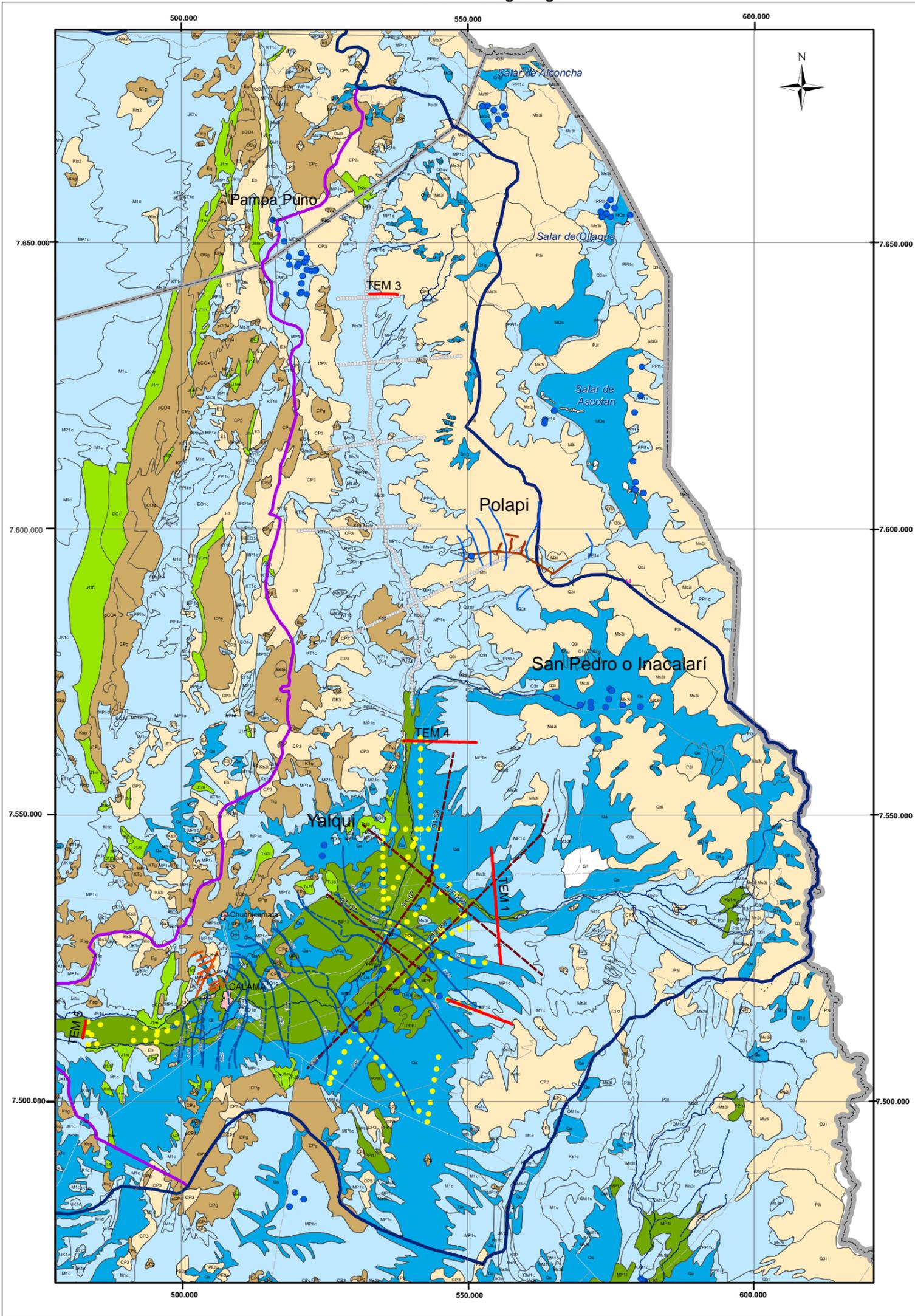
Datos Cartográficos
Proyección: UTM zona 19 S
Datum : WGS84



Escala: 1:750.000

CONSULTORES	PROYECTO
MAYCO Consultores	Levantamiento de Información Hidrogeológica Región de Antofagasta
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS	JEFE DE DPTO.
Francisco Echeverría Ellsworth	Adrián Lillo
	INSPECTOR FISCAL
	Juan Carlos Salgado
ESCALA 1:750.000	Nº DE PLANO : 1 GEOLOGIA

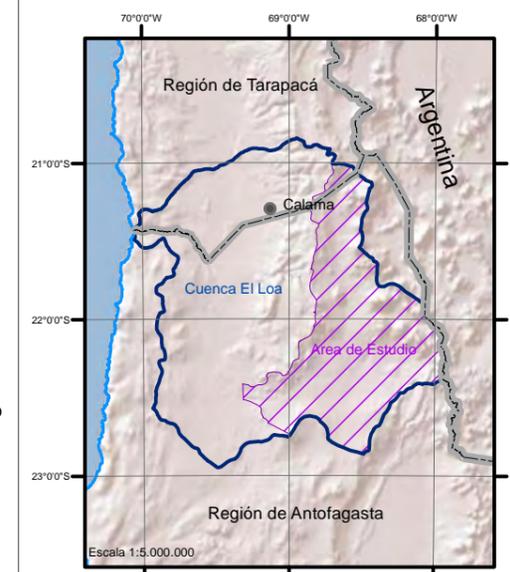
N° de Plano 2 Hidrogeología



Leyenda

- Cuenca Rio Loa
- Area de Estudio
- Elevación Superficie Piezométrica Acuífero profundo
- Elevación Superficie Freática Acuífero Superficial (m.s.n.m)
- CHU-1B Pozos
- Geofísica (este estudio)**
 - TEM
- Geofísica (estudios anteriores)**
 - Gravimetría Yalqui (Consorcio Matraz, 2012)
 - L1 TEM Proyecto Quetena (Geodatos, 2011)
 - L0 TEM Proyecto Polapi (FCAB, 2003)
 - 91-07 Sísmica ENAP (Jordan, 2006)
- Topografía Base**
 - Río
 - Cuidades
 - Camino Pavimentado
 - Camino Ripio
- Límites Administrativos**
 - Internacional
 - Regional

Esquicio de área de estudio

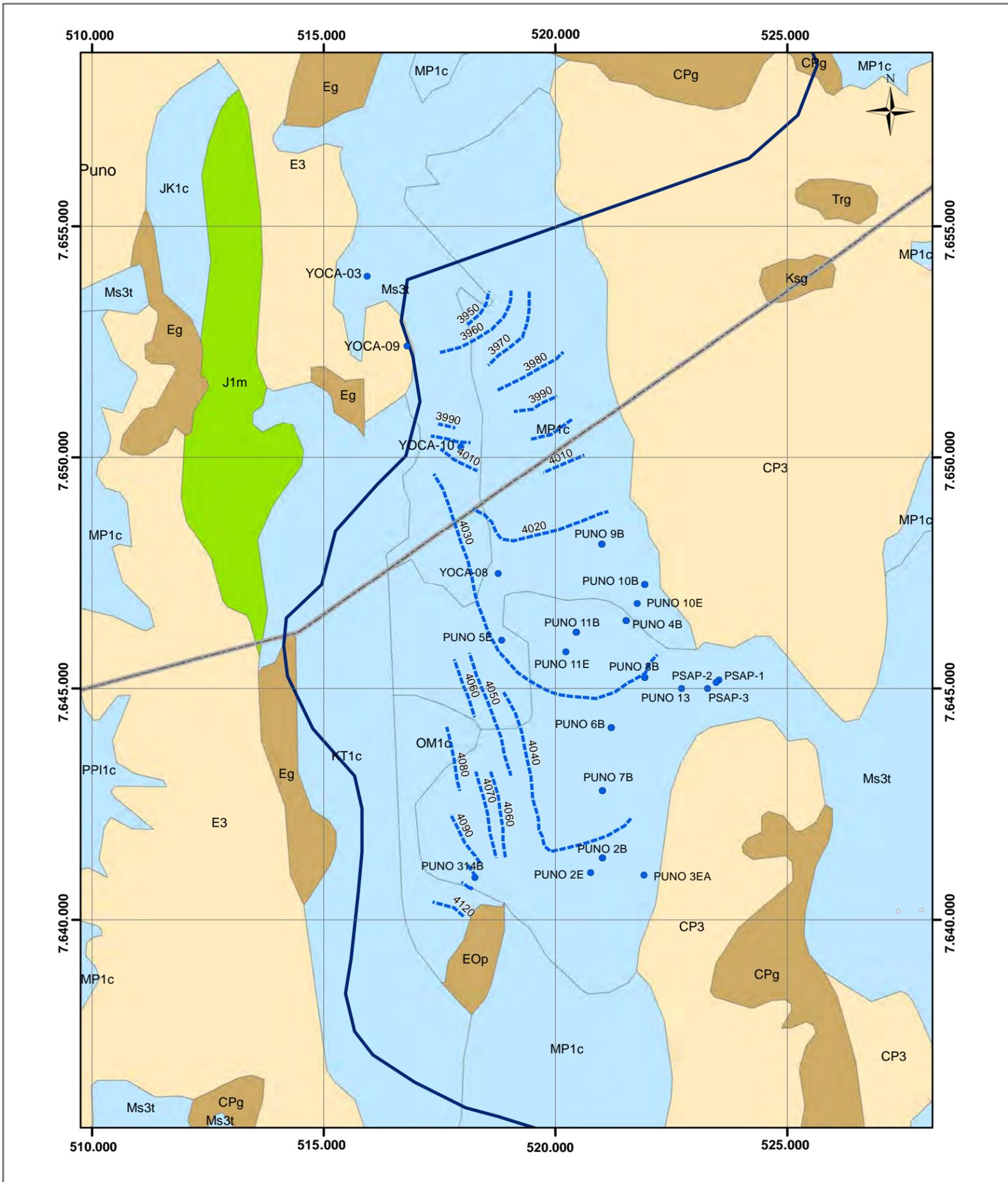


Datos Cartográficos
Proyección: UTM zona 19 S
Datum : WGS84



MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCION GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS		
CONSULTORES MAYCO Consultores		PROYECTO Levantamiento de Información Hidrogeológica Región de Antofagasta
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS Francisco Echeverría Ellsworth	JEFE DE DPTO. Adrian Lillo	INSPECTOR FISCAL Juan Carlos Salgado
ESCALA 1:750.000		N° DE PLANO : 1 HIDROGEOLOGIA

Unidad	Símbolo	Importancia Hidrogeológica Relativa	Formaciones	Características generales
A. Sedimentos y Rocas con flujo esencialmente intergranular				
A.1		Alta a Media	MQs, Qan, Qa, Qe, Qf	Sedimentos no consolidados de origen fluvial, aluvial, eólico y evaporítico. Conformados por gravas, bolones, arenas con lentes de finos. Se forman en el cauce actual de los principales cursos fluviales, las llanuras de inundación, al pie de macizos montañosos y en la desembocadura de tributarios menores
A.2		Media	Q3av, Q3t, Ms3t, MP1c, OM1c, M1c, EO1c, Ks1c, KT1c, JK1c, Tr1c, J1m	Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y eólicas antiguas conformados por gravas, arenas y finos, con grados medio a alto de consolidación y cementación. También ignimbritas y depósitos de flujo piroclástico
B. Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas				
B.1		Media a Baja	PPI1, MP11, Ks1m	Rocas Cálcareas, sedimentarias y volcánicas. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, rocas epiclásticas fosilíferas, calizas estromatolíticas, lavas, brechas y tobas andesíticas a riolíticas. Conforman acuíferos kársticos
B.2		Baja	J1m, Tr2c, DC1	Rocas Cálcareas, sedimentarias y volcánicas. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, rocas epiclásticas fosilíferas, calizas estromatolíticas, lavas, brechas y tobas andesíticas a riolíticas. Conforman acuíferos kársticos
C. Rocas con limitado a ningún recurso de agua subterránea				
C.1		Baja a Muy Baja	M3i, OM3, E3, Ks3i, CP3	Rocas Volcánicas. Secuencias de lavas andesíticas a basálticas. flujo esencialmente fisurado
C.1		Muy Baja a Nula	Eop, Eg, KTg, Jsg, Trg, CPg, Osg, pCO4	Rocas intrusivas y metamórficas con escasa a nula permeabilidad



Leyenda

Importancia Hidrogeológica relativa



Gravimetría este estudio

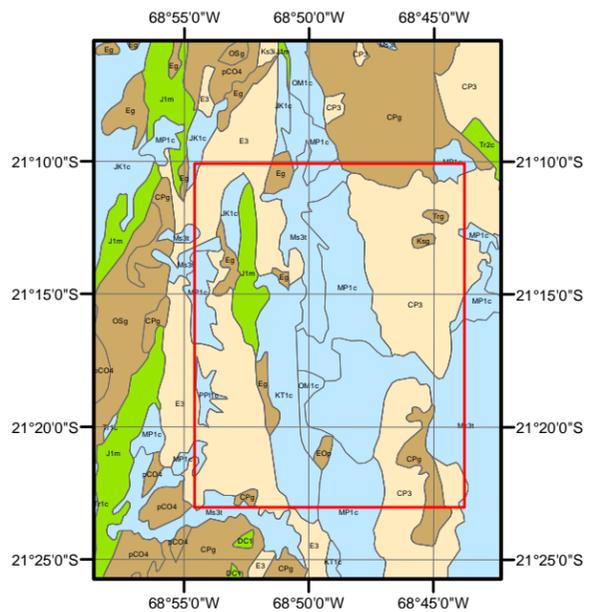
○ Gravimetría

▭ Cuenca Río Loa

--- 2150 Elevación Superficie Freática Acuífero Superficial (m.s.n.m)

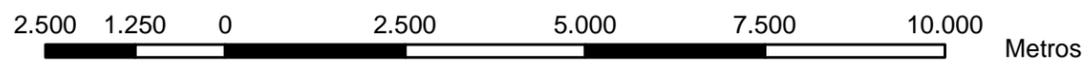
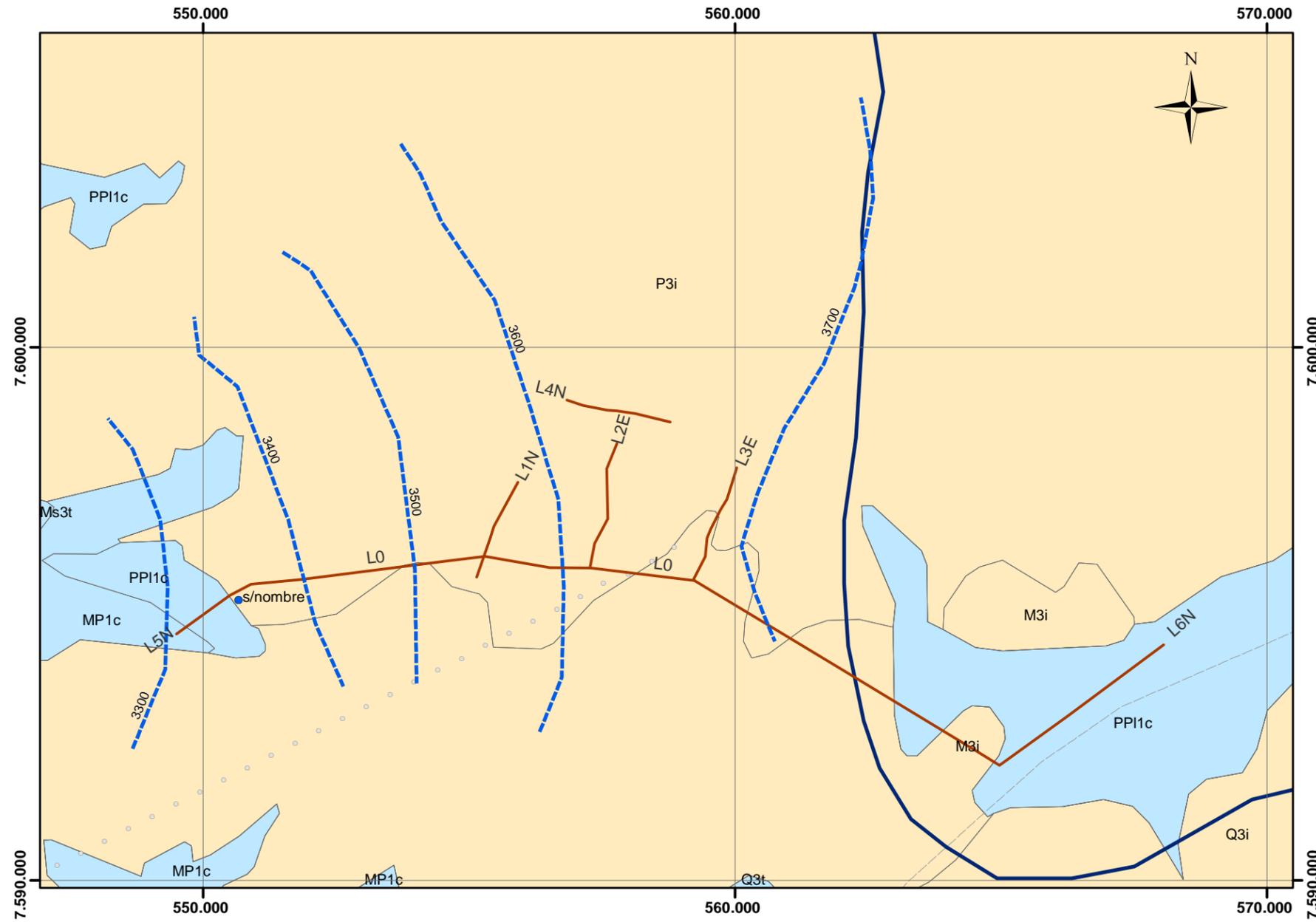
● CHU-1B Pozos

Esquicio area de estudio



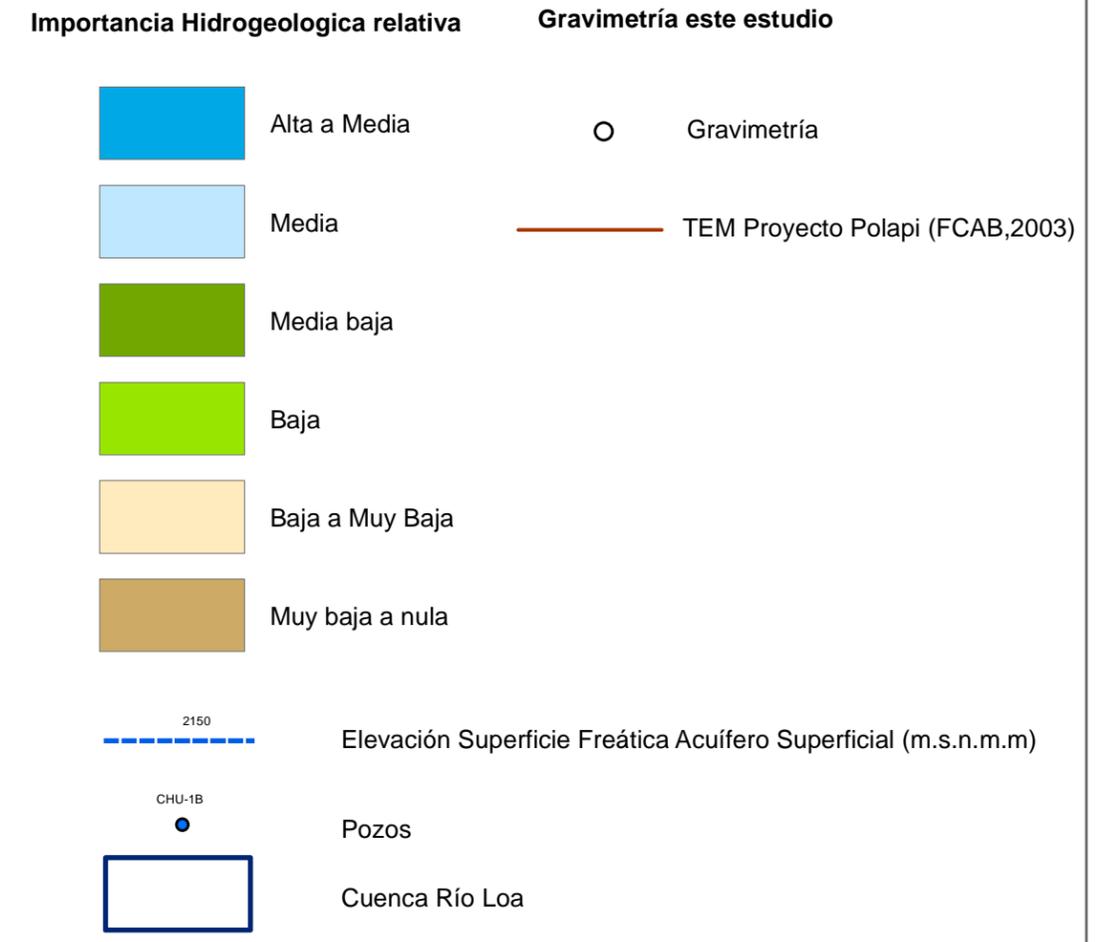
1:500.000

Lámina 4 Polapi

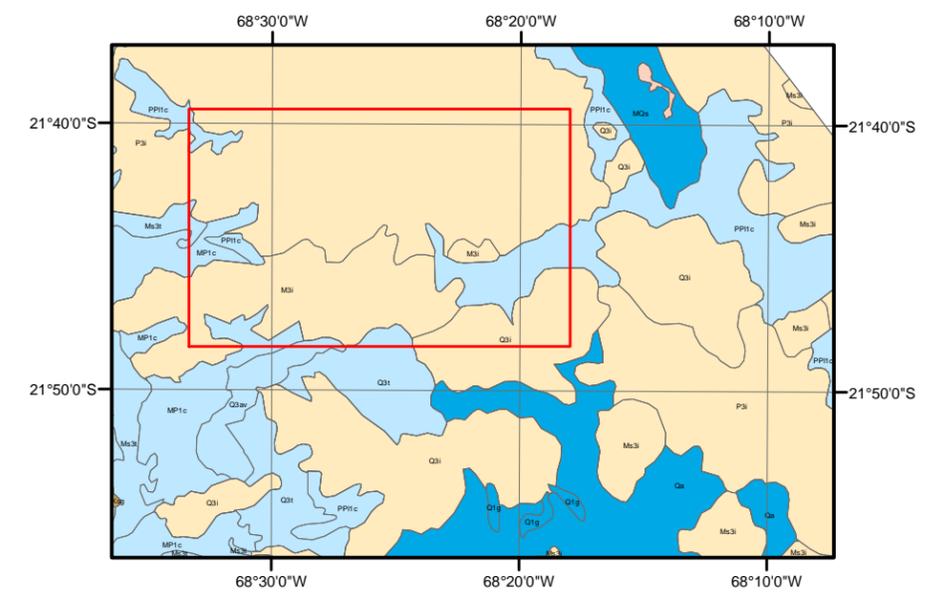


1:100.000

Leyenda



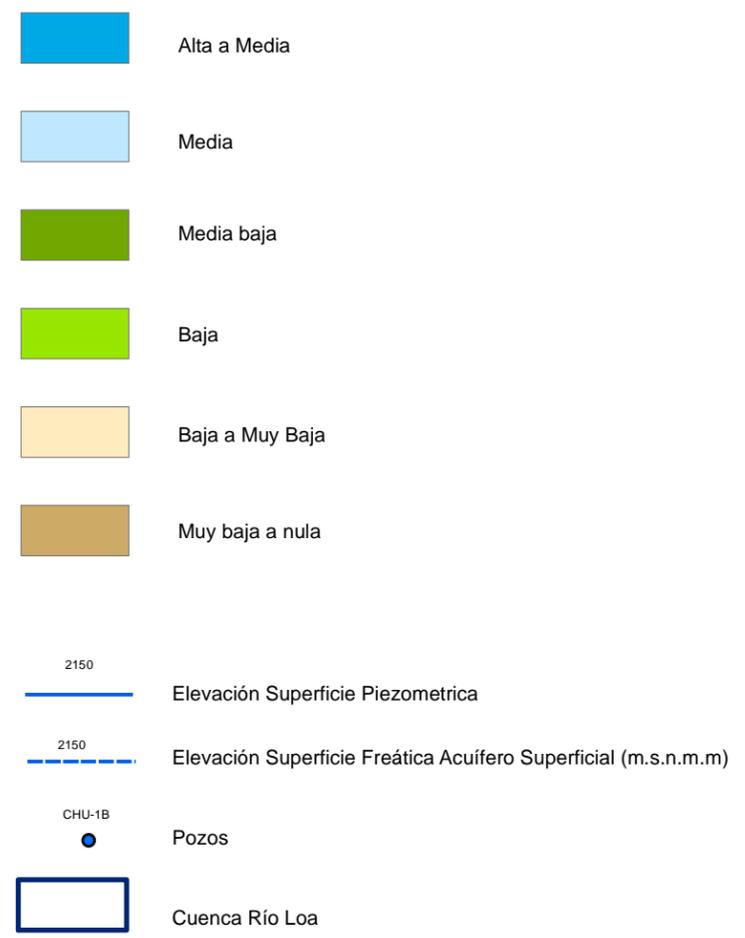
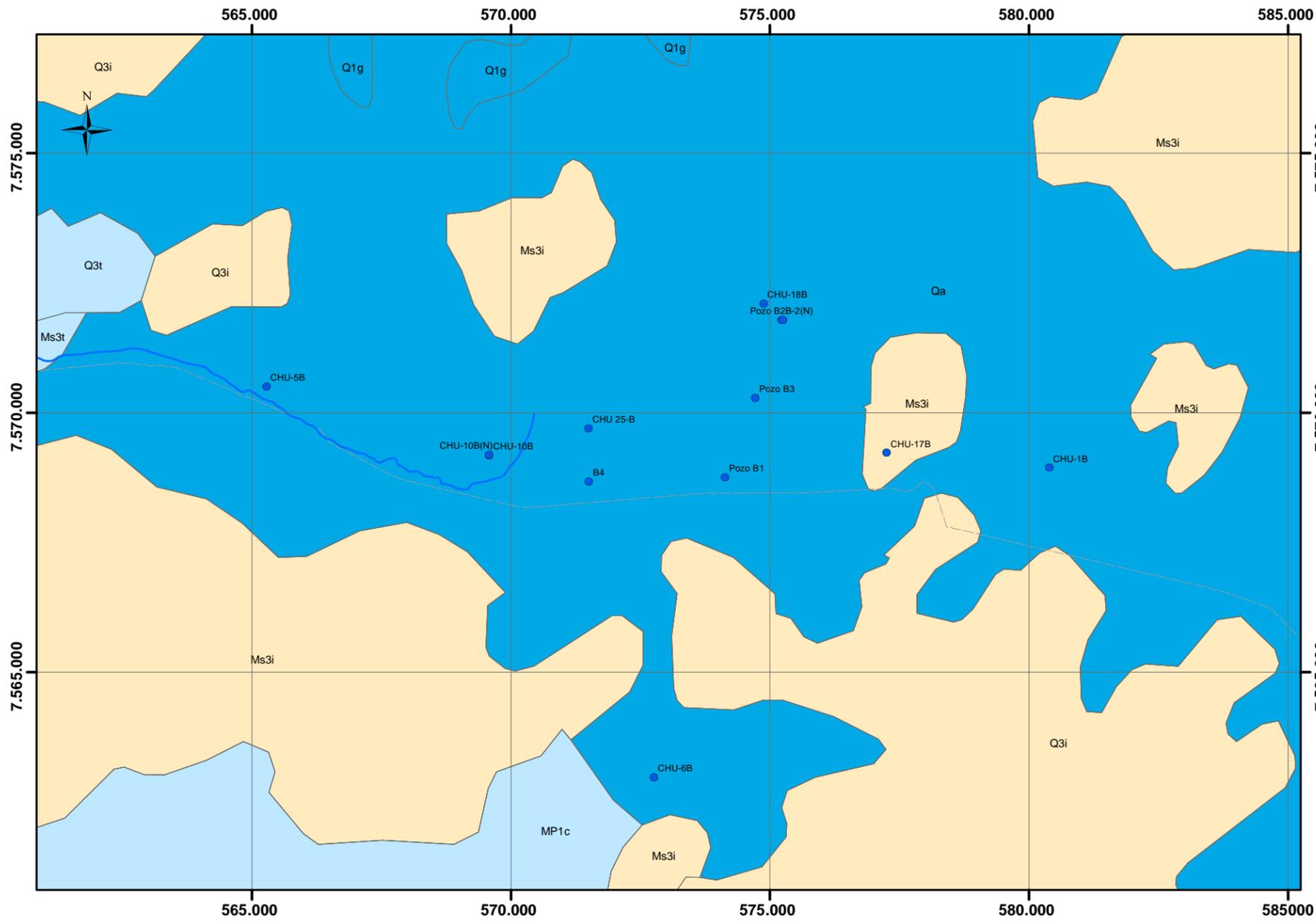
Esquicio area de estudio



Lamina 5 San Pedro o Incalari

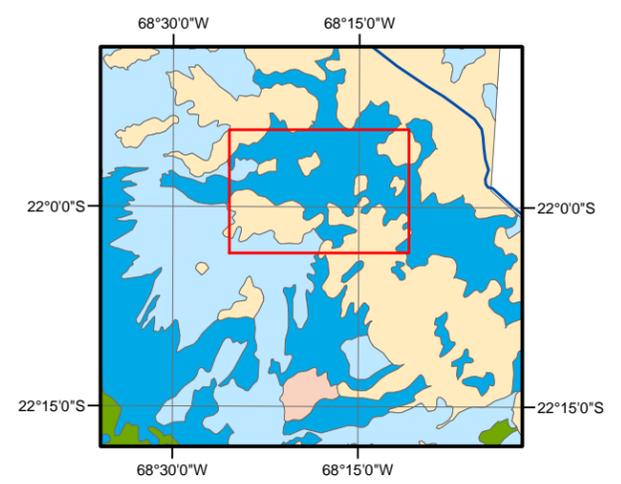
Leyenda

Importancia Hidrogeologica relativa

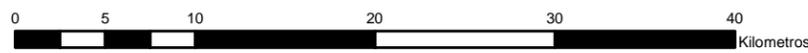
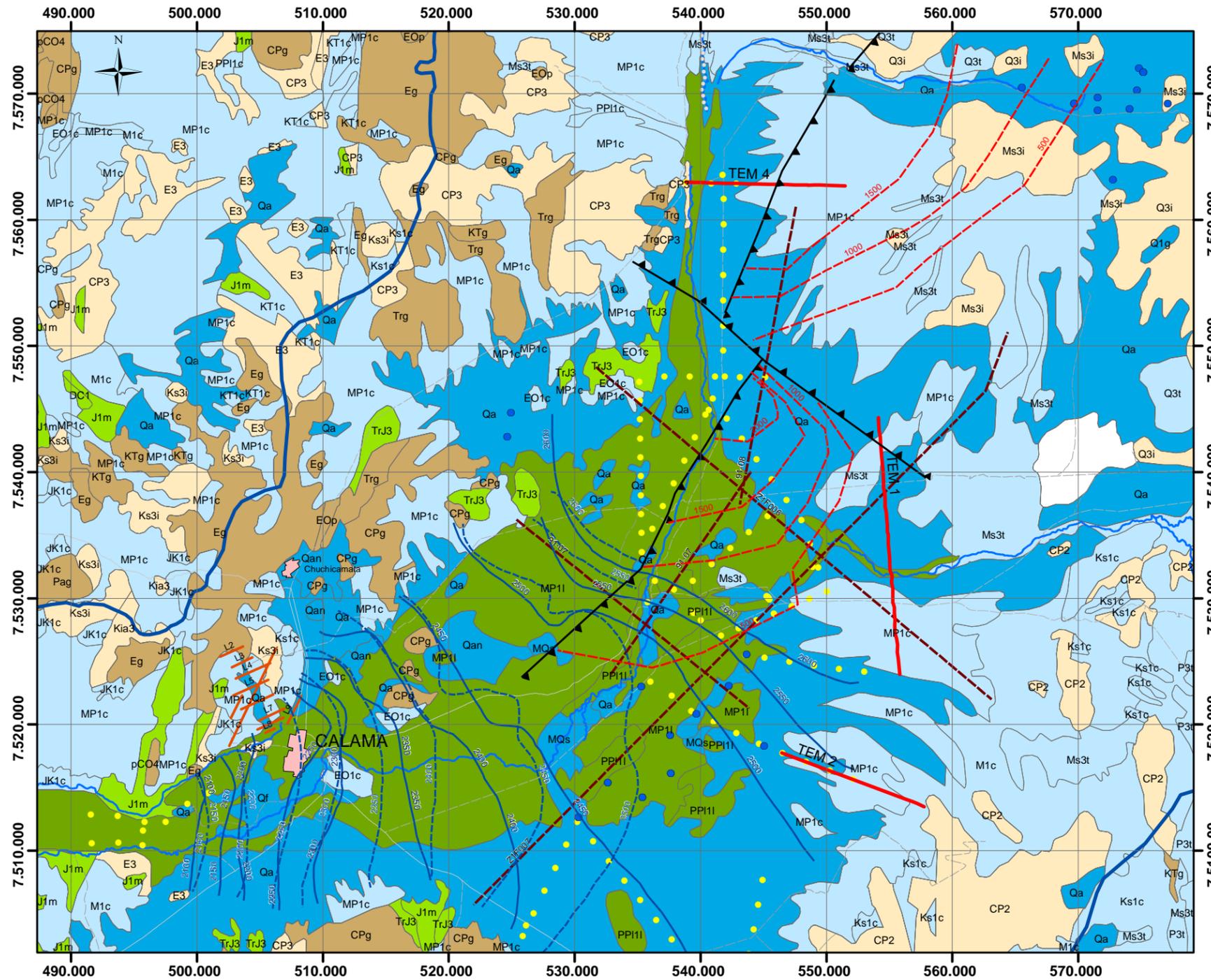


1:100.000

Esquicio área de estudio



Lamina 6 Yalqui



1:400.000

Leyenda

Importancia Hidrogeologica relativa

- Alta a Media
- Media
- Media baja
- Baja
- Baja a Muy Baja
- Muy baja a nula

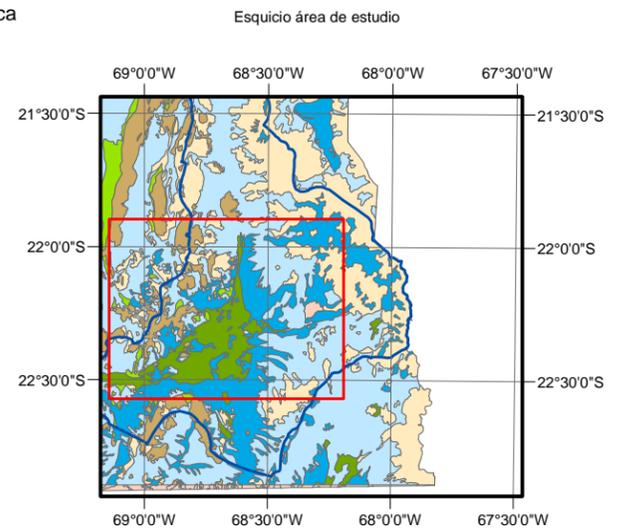
Geofísica (este estudio)

- Gravimetria
- TEM
- Depocentros

Geofísica (estudios anteriores)

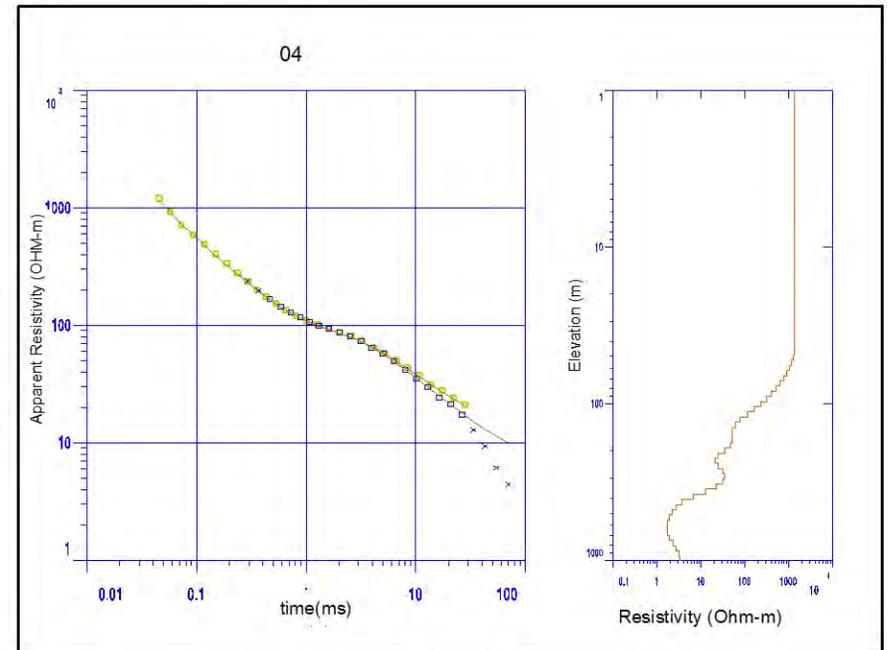
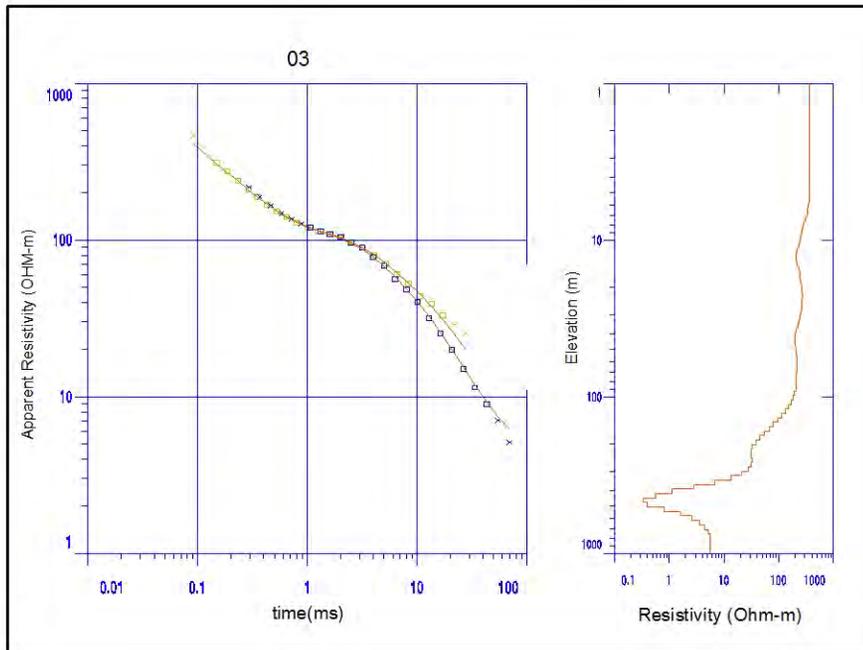
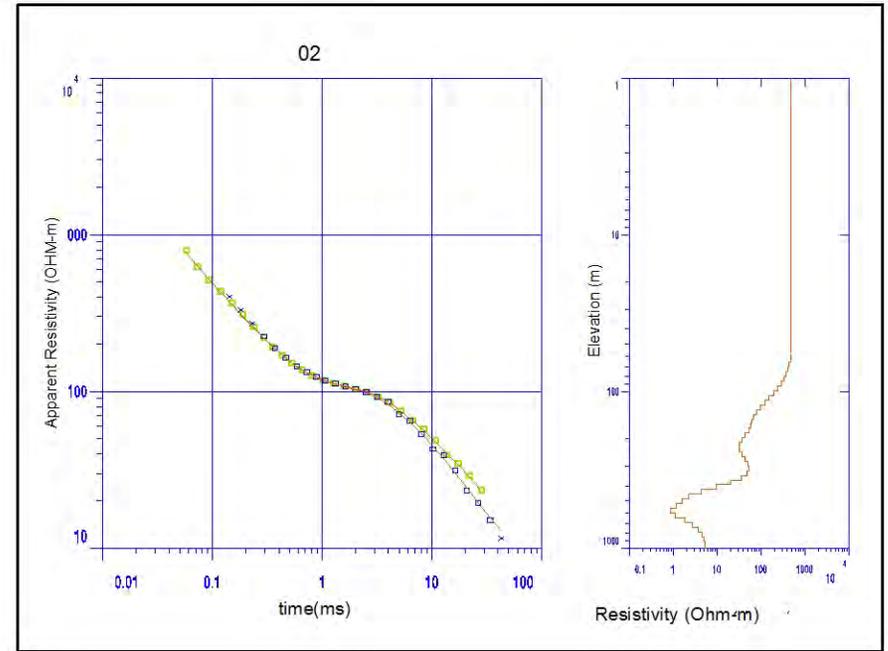
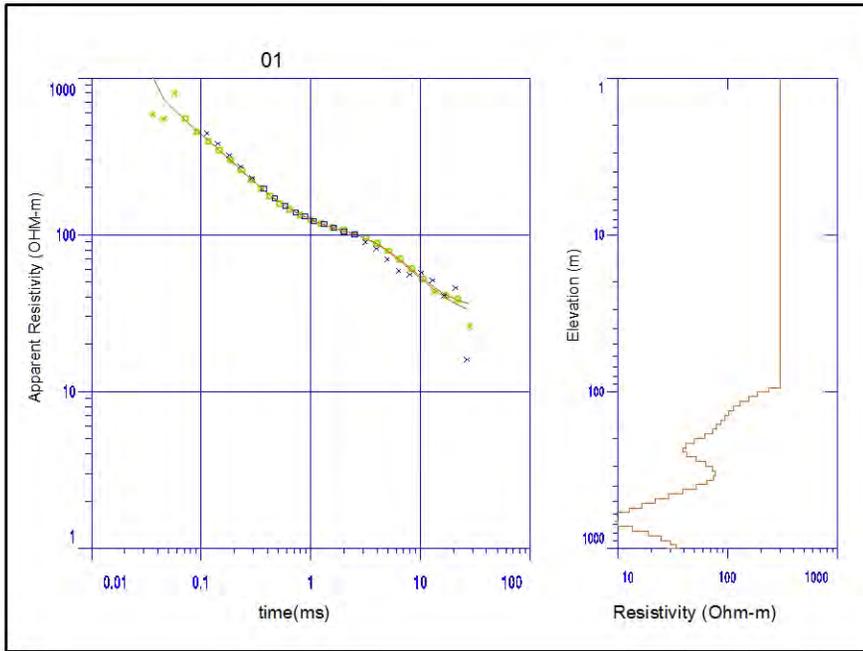
- Gravimetria Yalqui (Consorcio Matraz, 2012)
- L1 TEM Proyecto Quetena (Geodatos, 2011):
- L0 TEM Proyecto Polapi (FCAB, 2003)
- 91-07 Sísmica ENAP (Jordan, 2006)

- 2150 Elevación Superficie Piezometrica Acuífero profundo
- 2150 Elevación Superficie Freática Acuífero Superficial (m.s.n.m.m)
- Pozos
- Cuenca Río Loa
- Fallas de Borde Cuenca

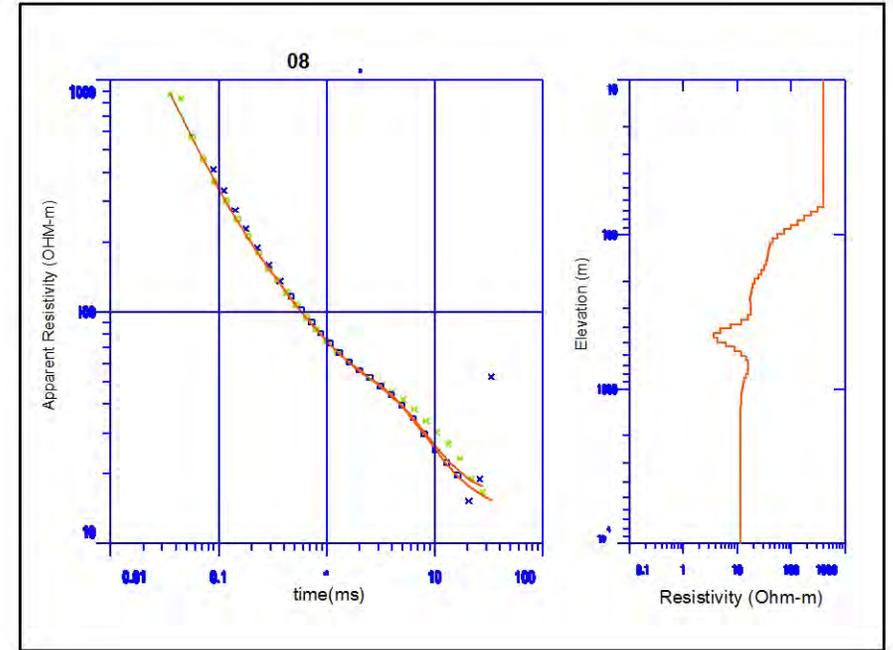
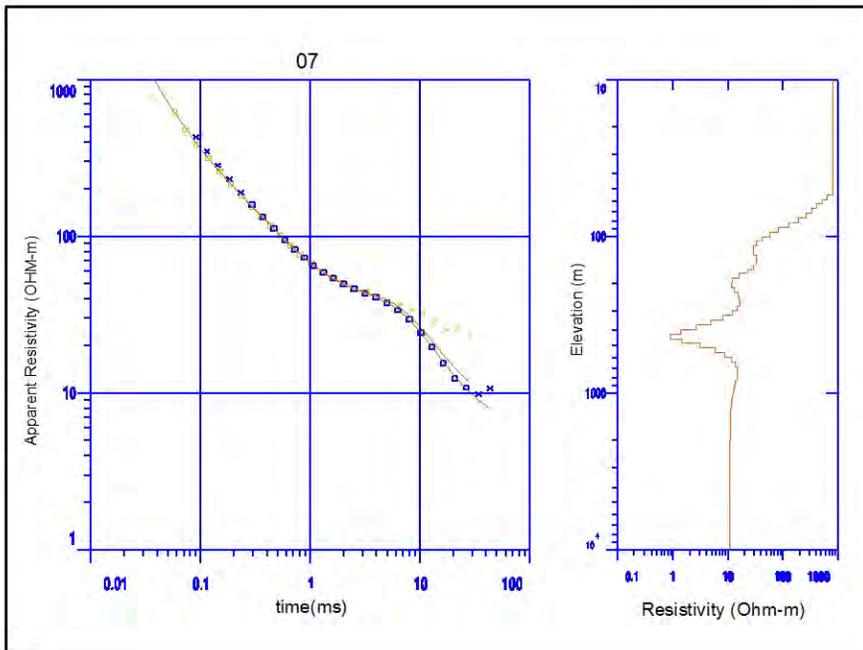
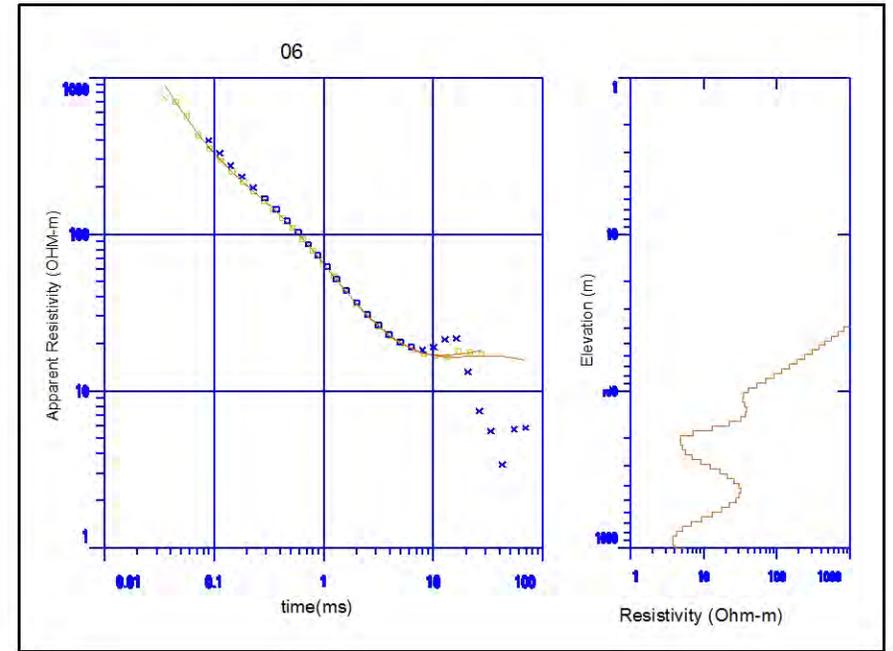
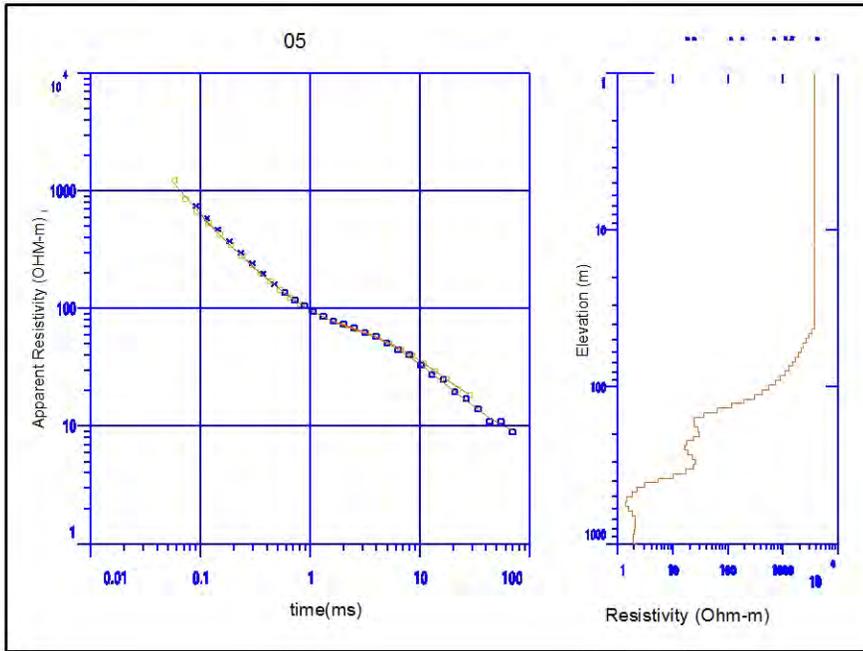


ANEXO A
PERFILES GEOFISICOS TEM

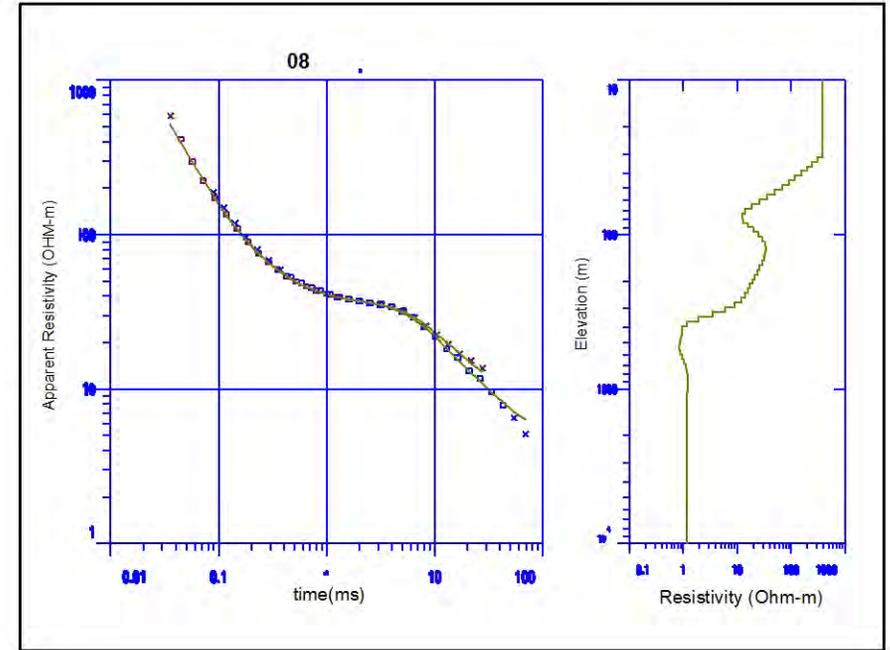
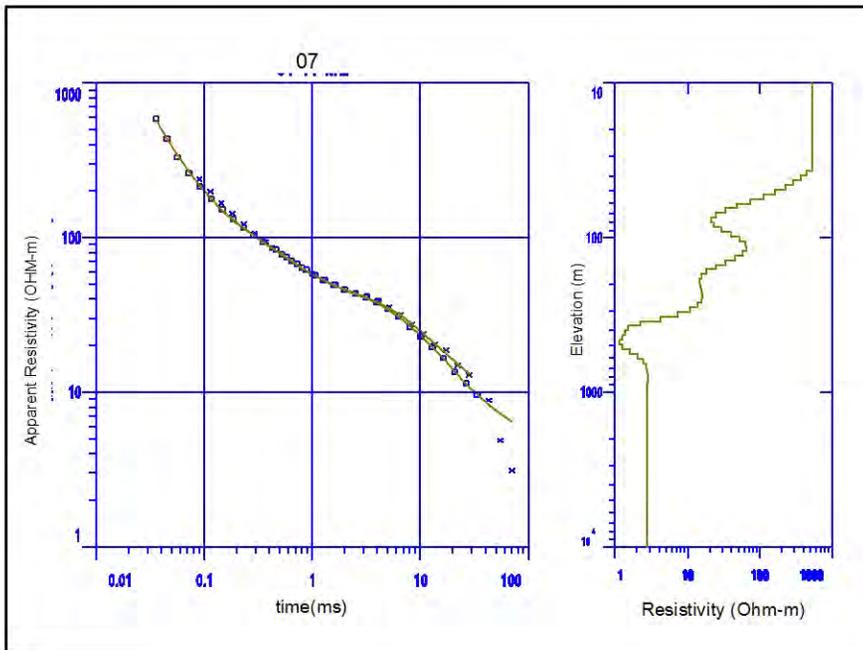
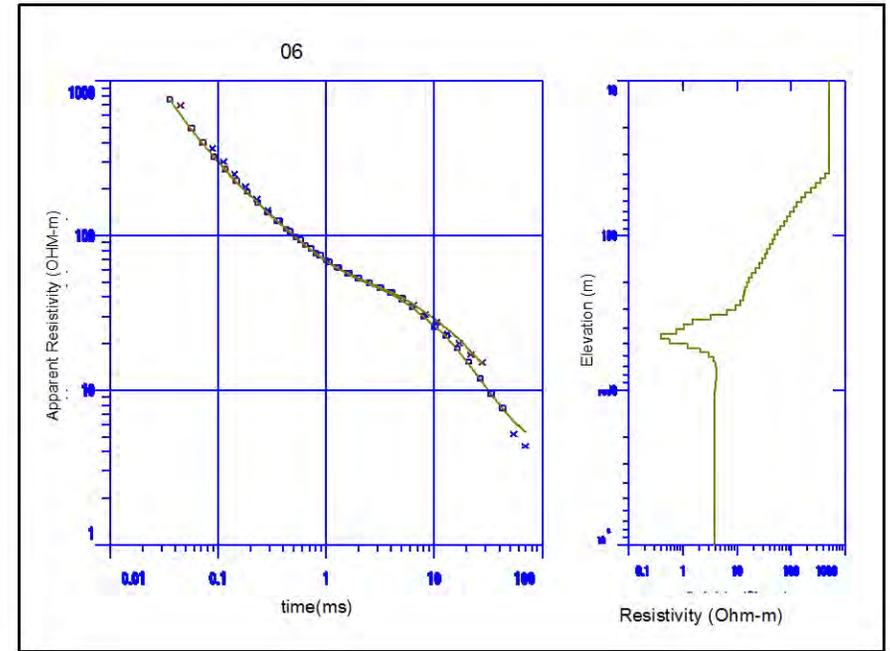
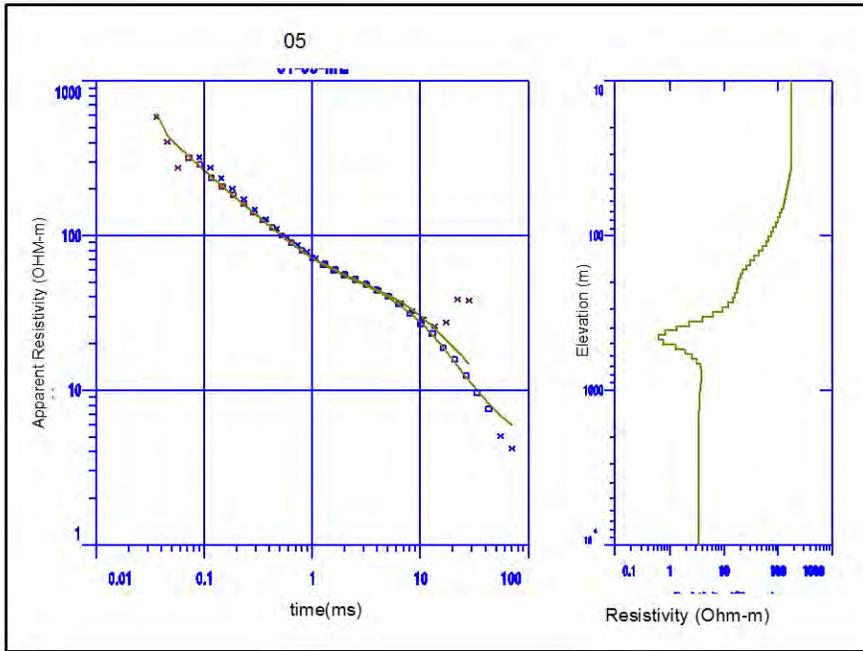
Perfiles TEM 1



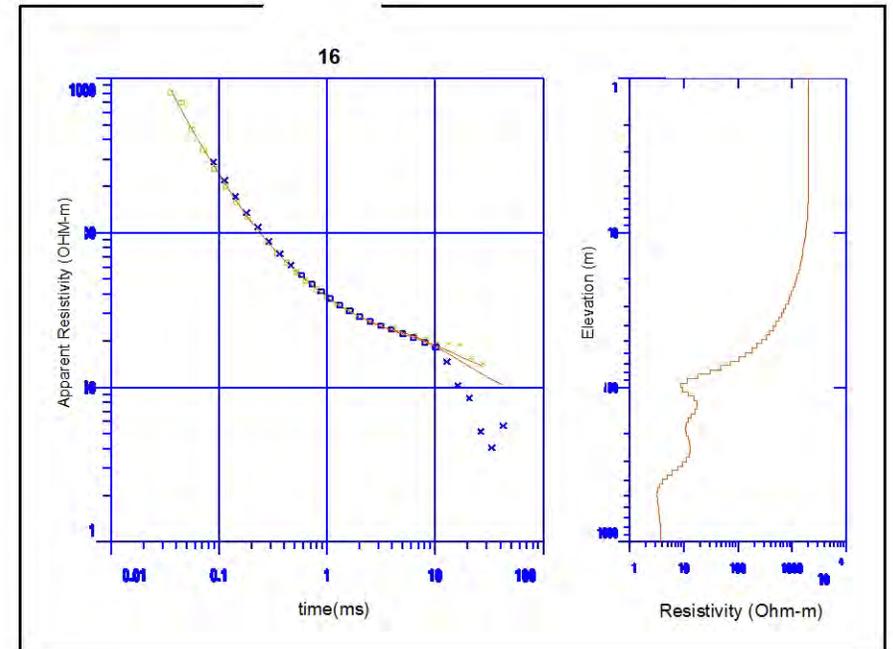
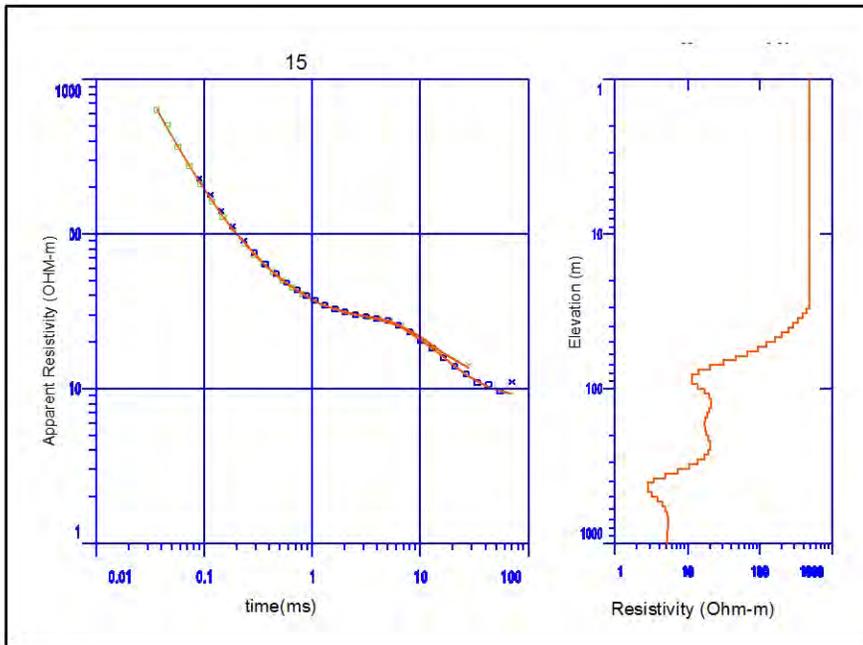
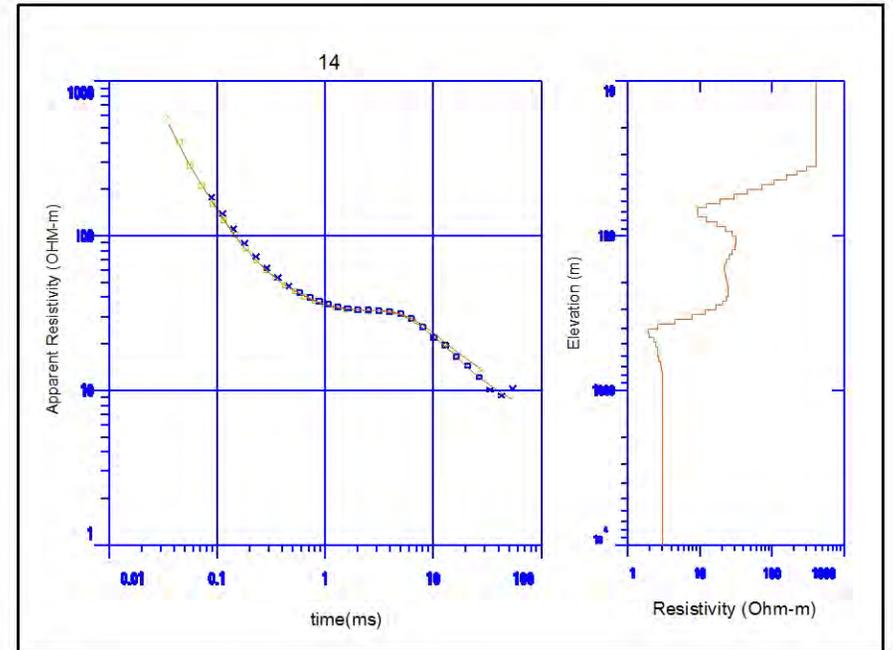
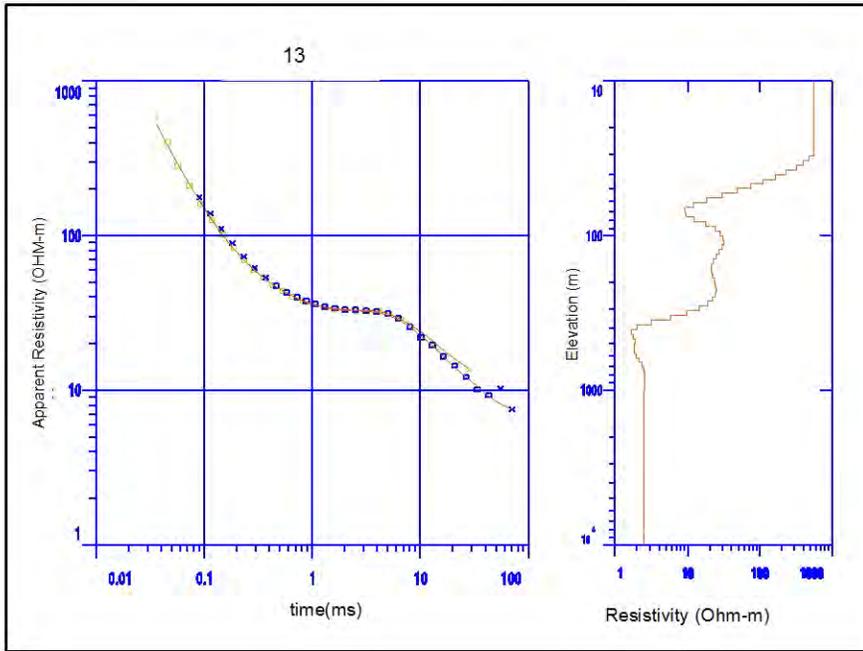
Perfiles TEM 1



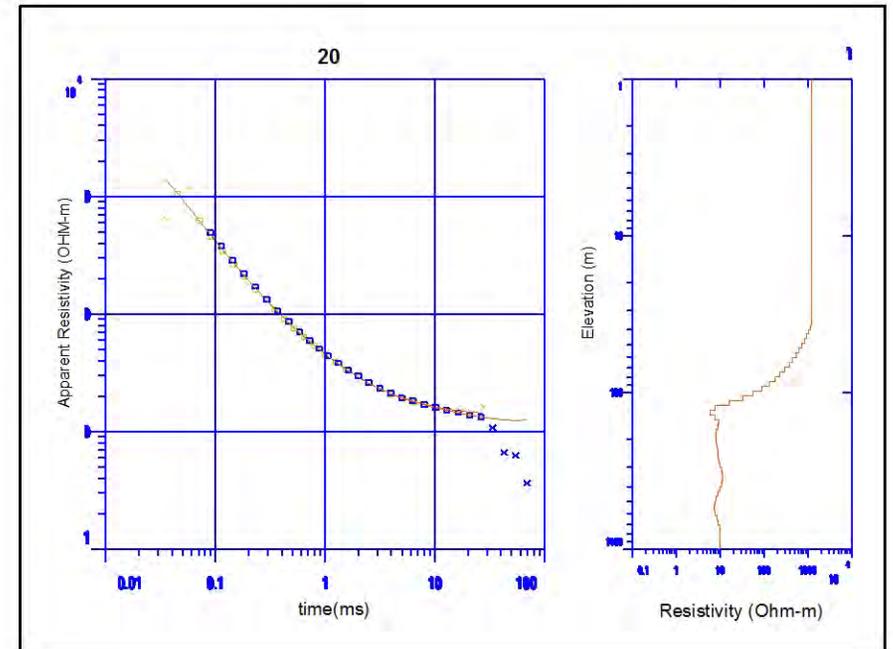
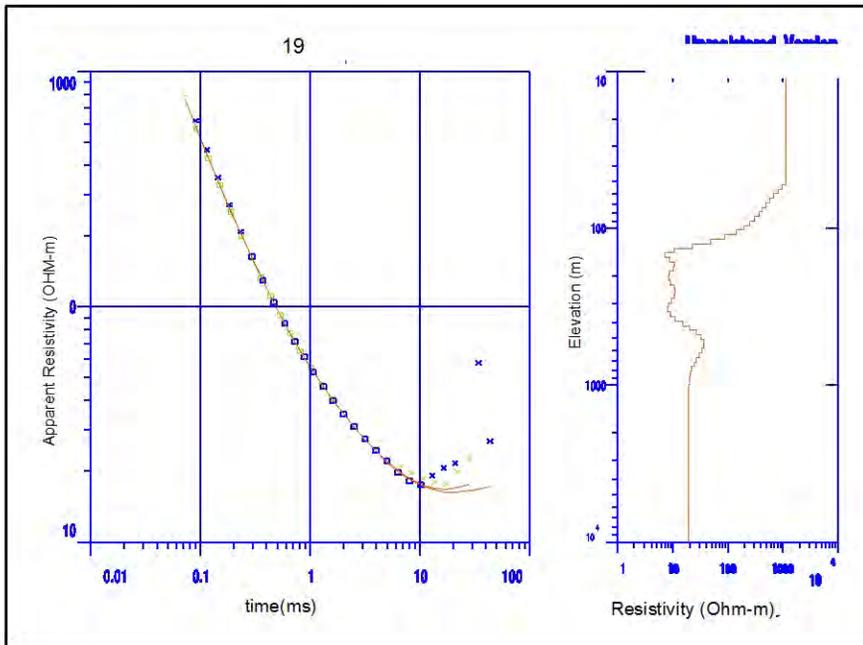
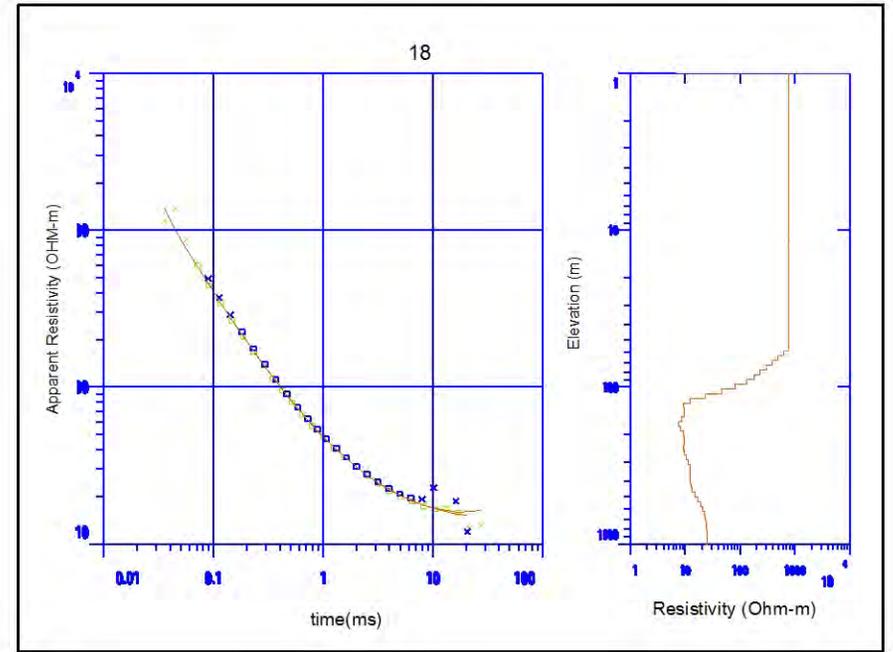
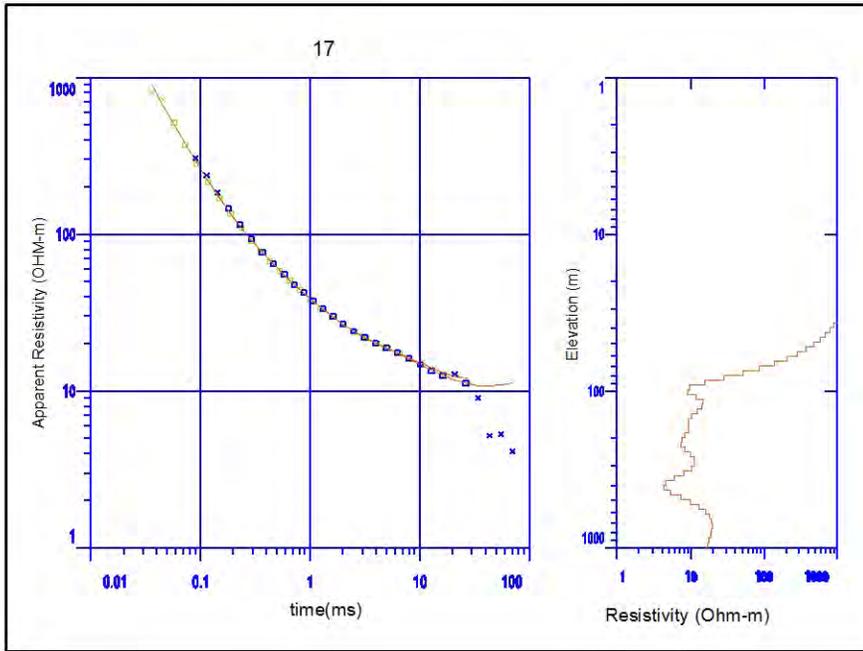
Perfiles TEM 1



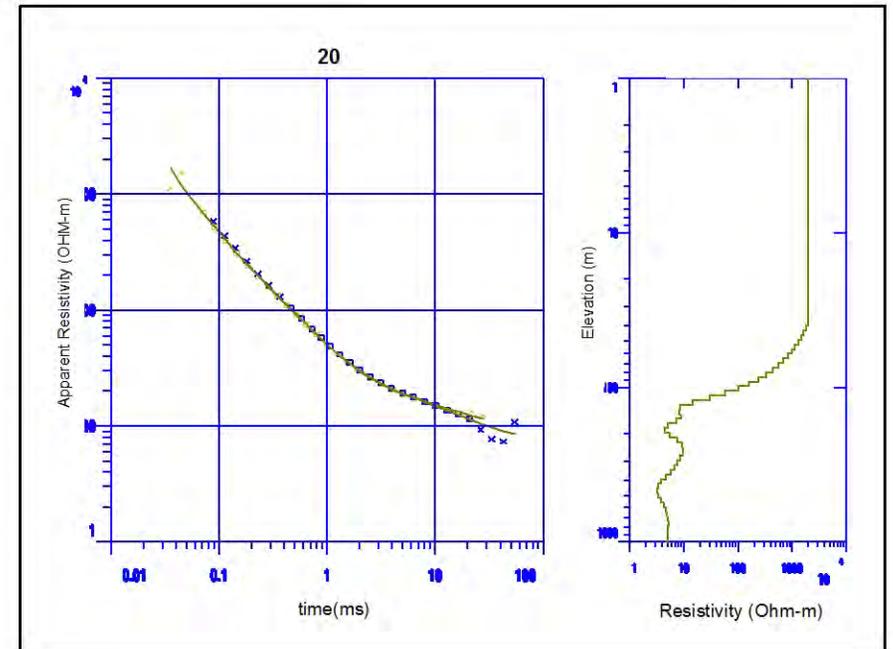
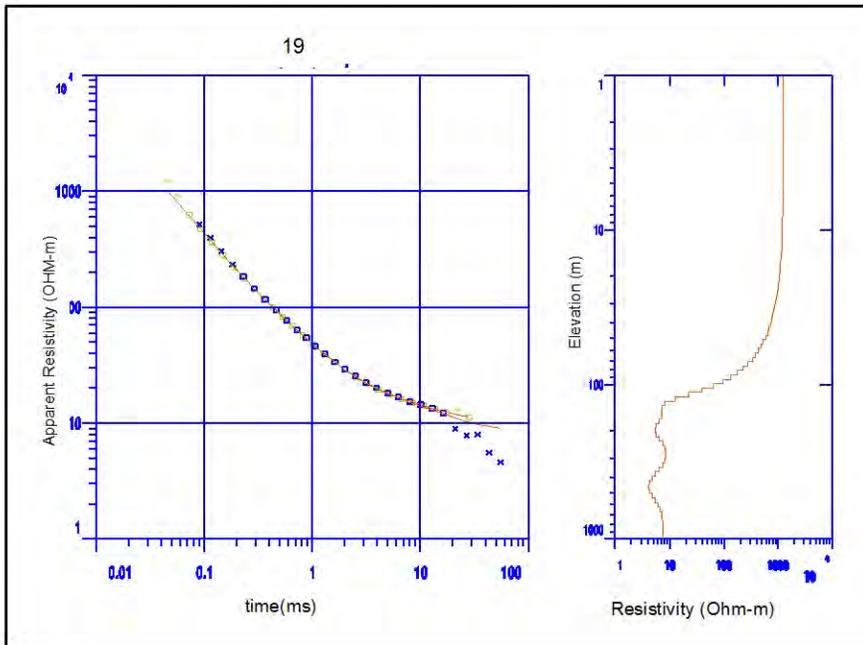
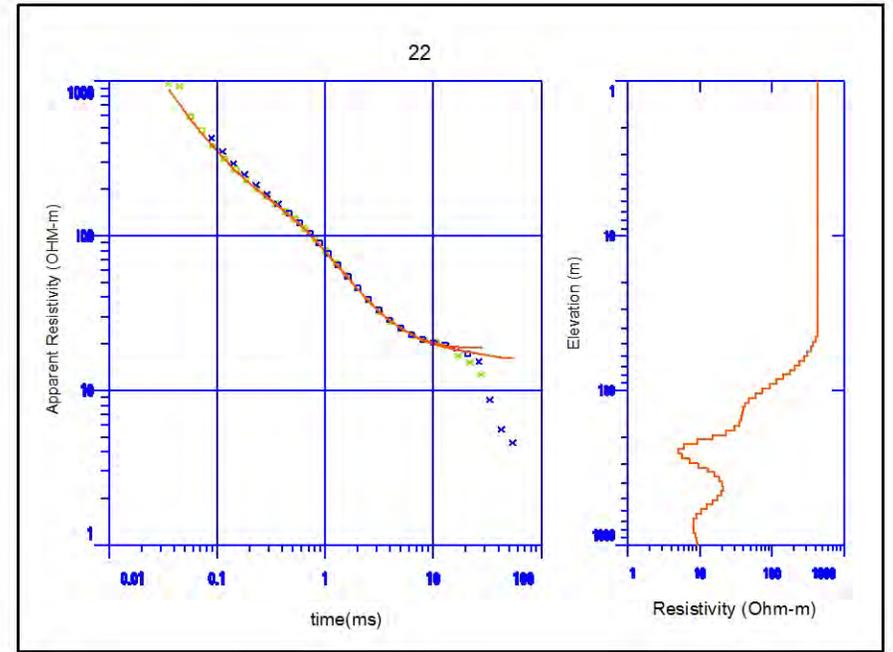
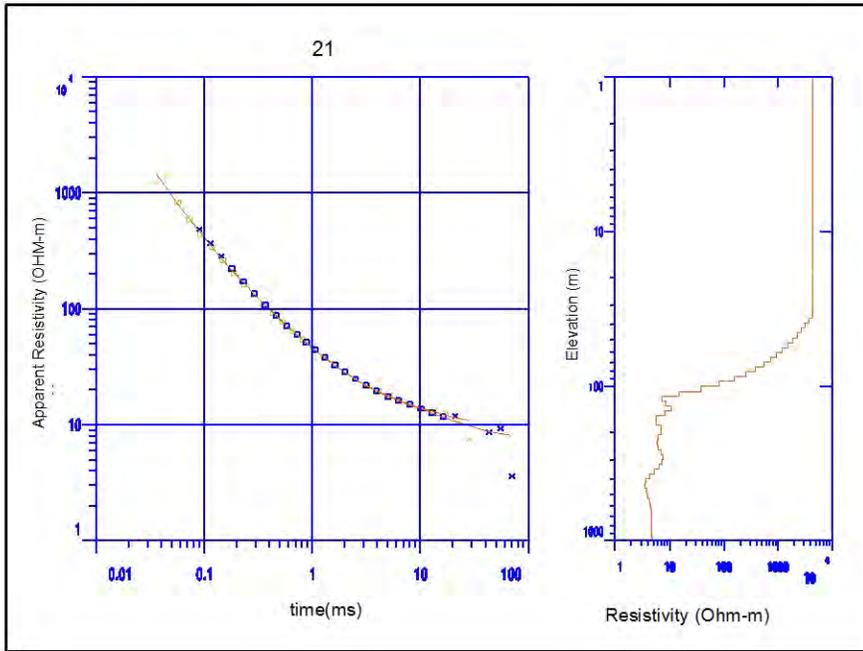
Perfiles TEM 1



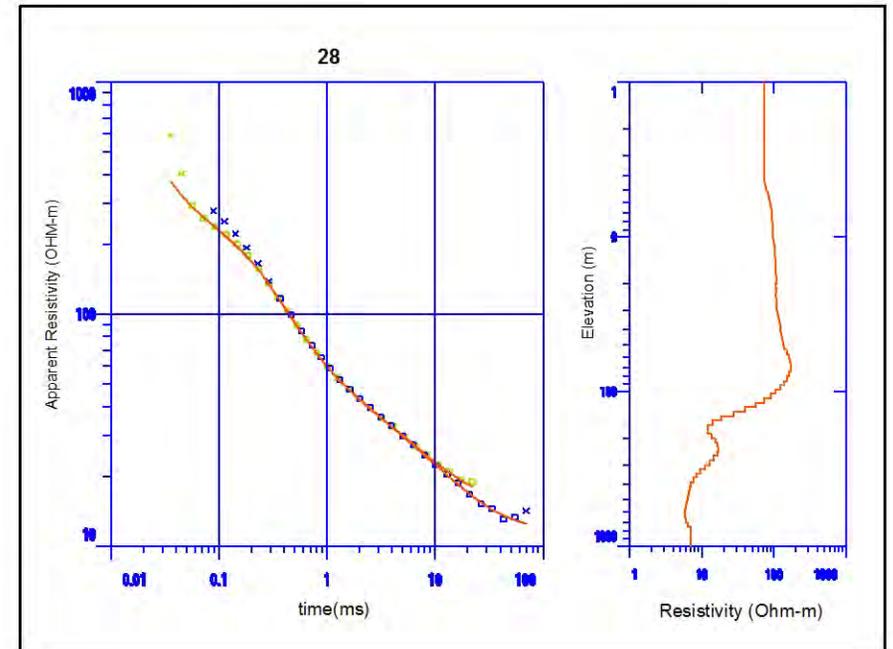
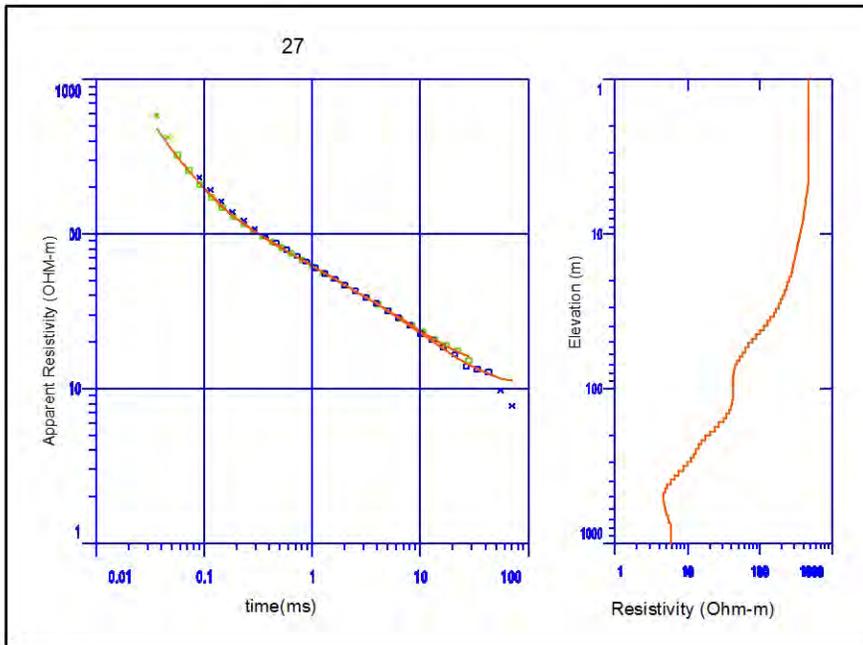
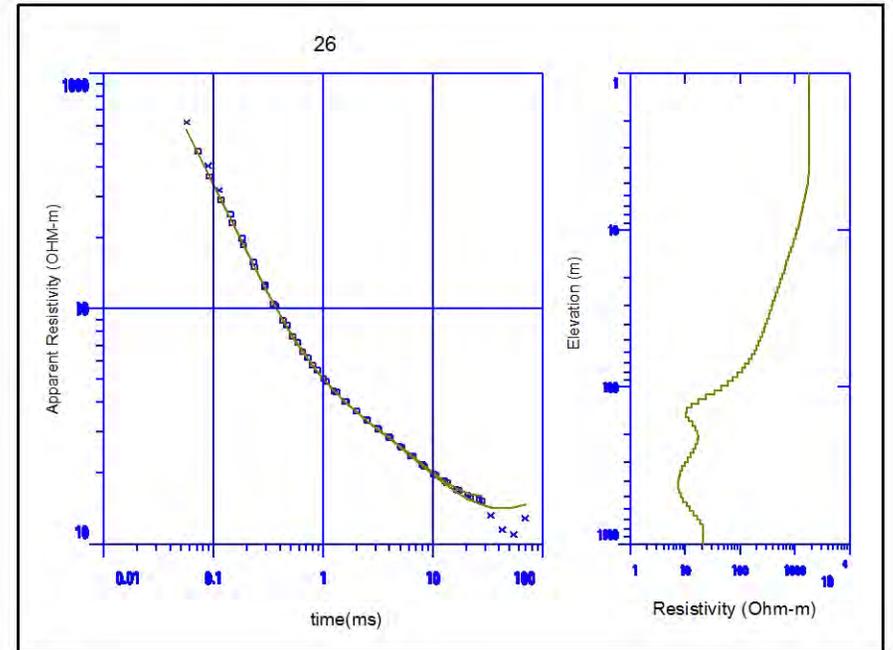
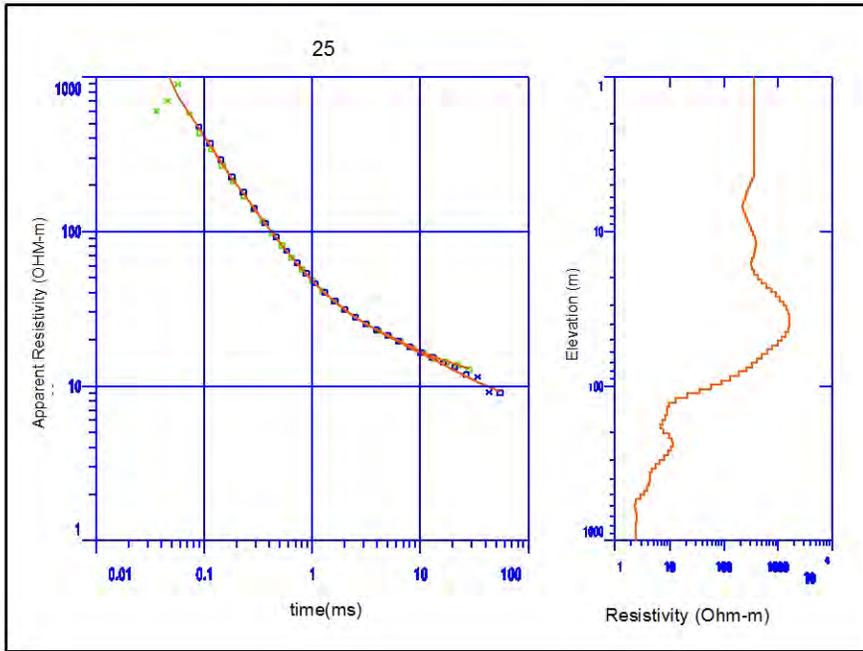
Perfiles TEM 1



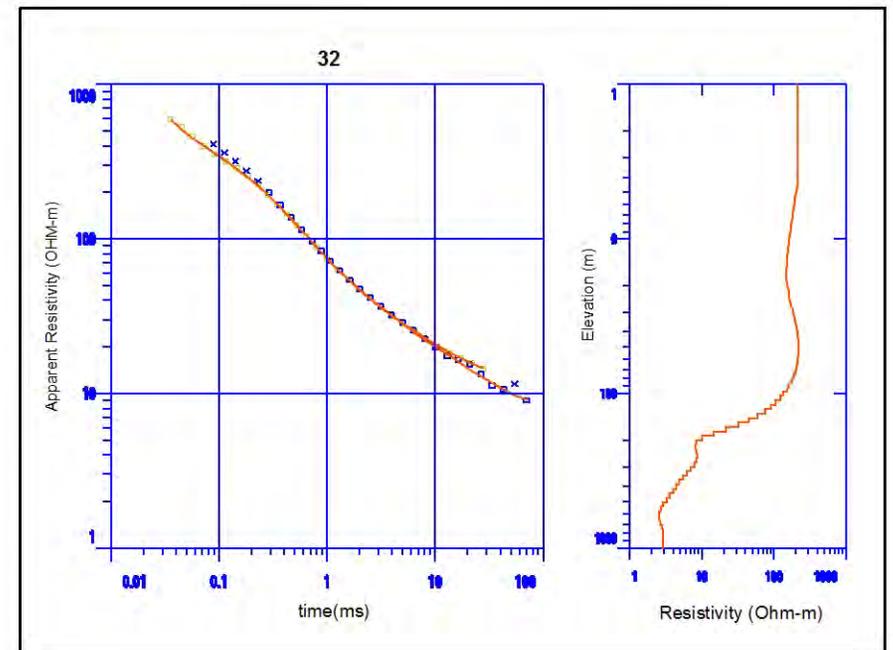
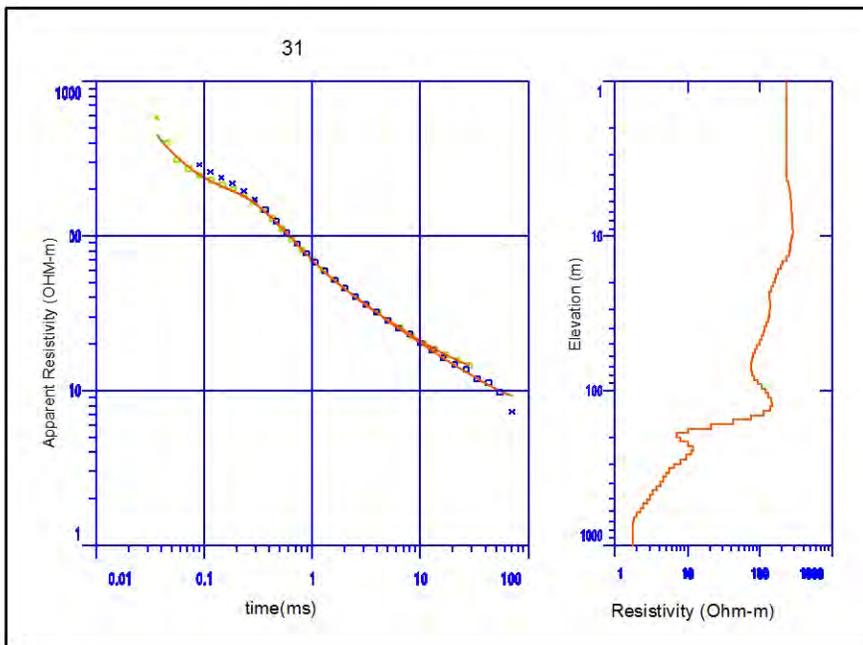
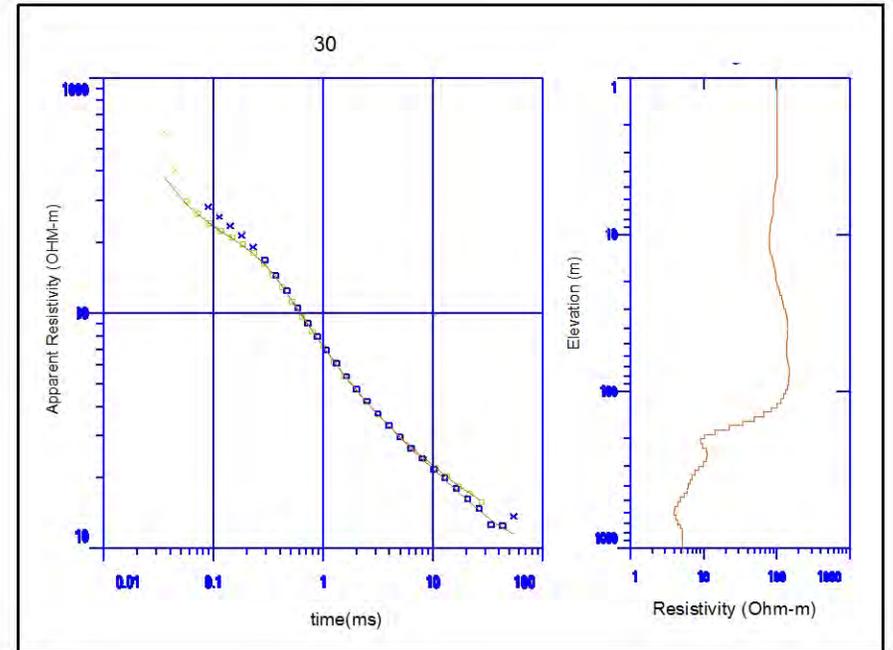
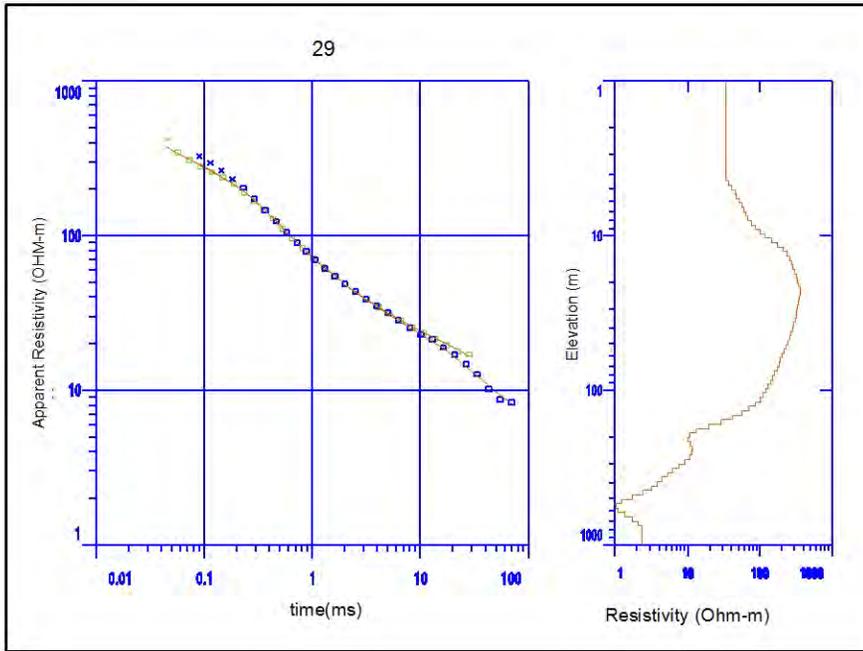
Perfiles TEM 1



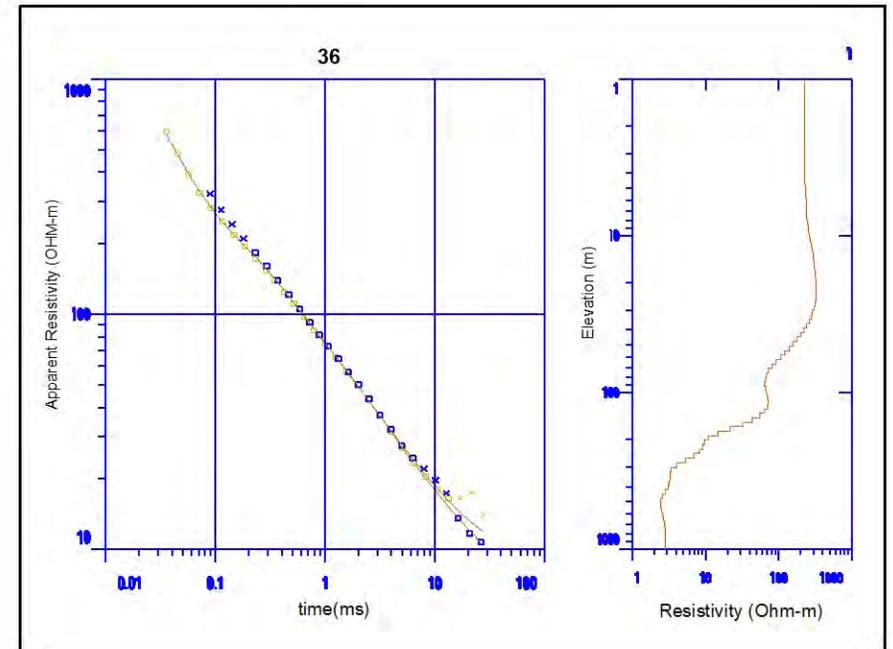
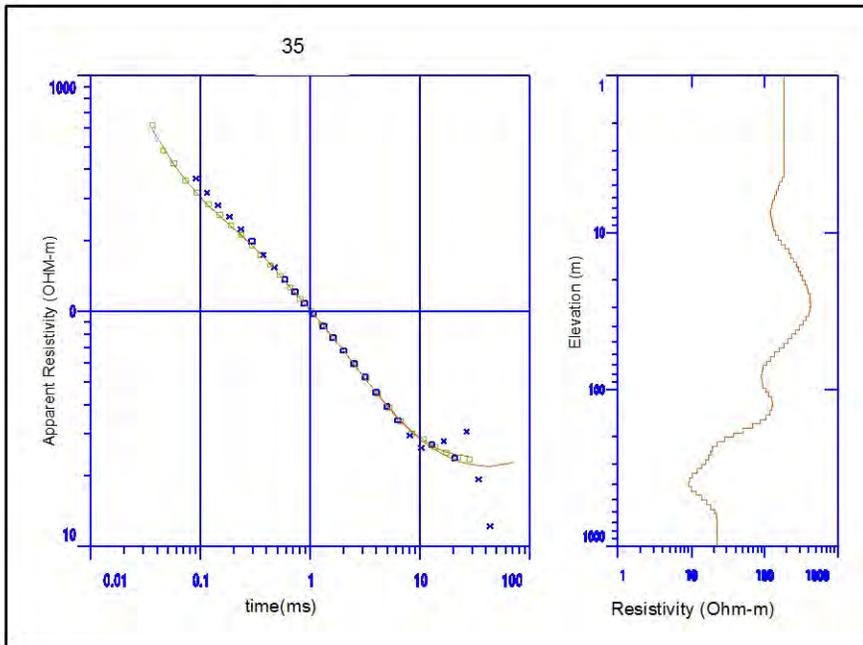
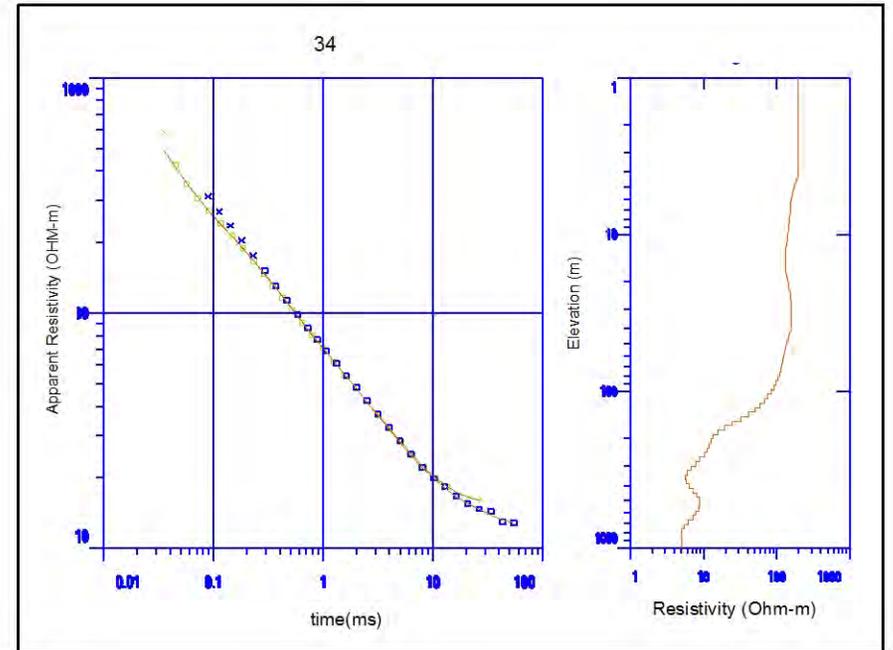
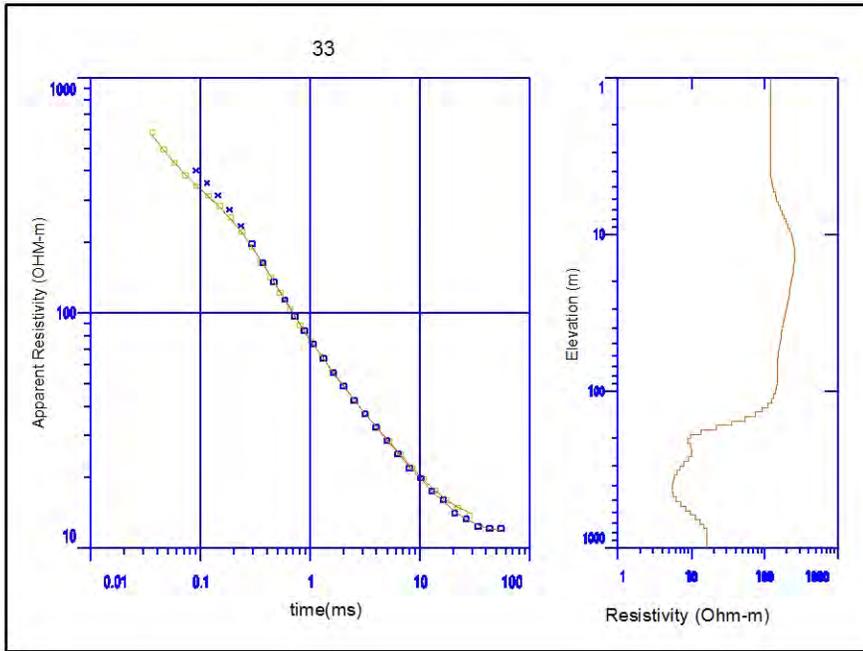
Perfiles TEM 1



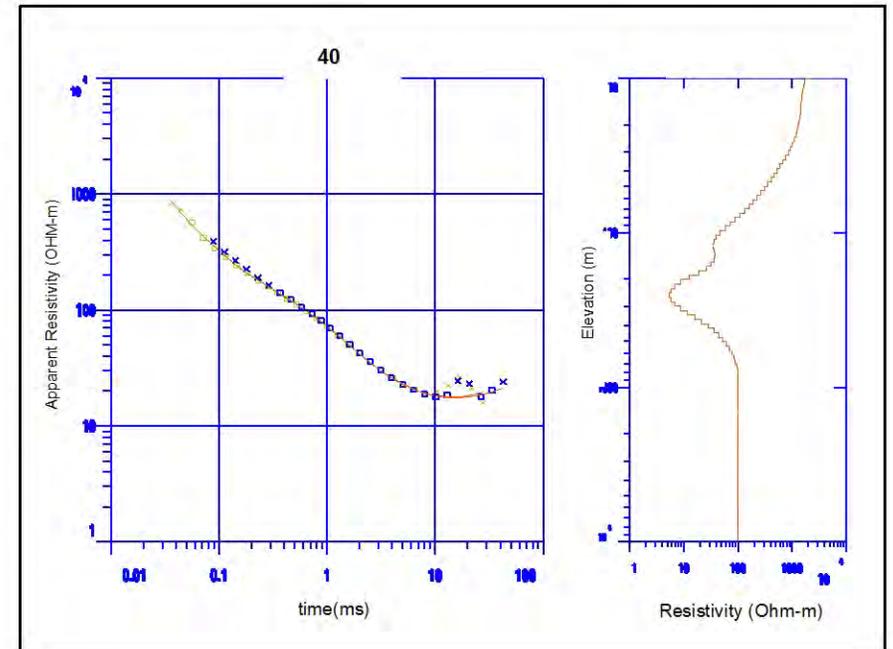
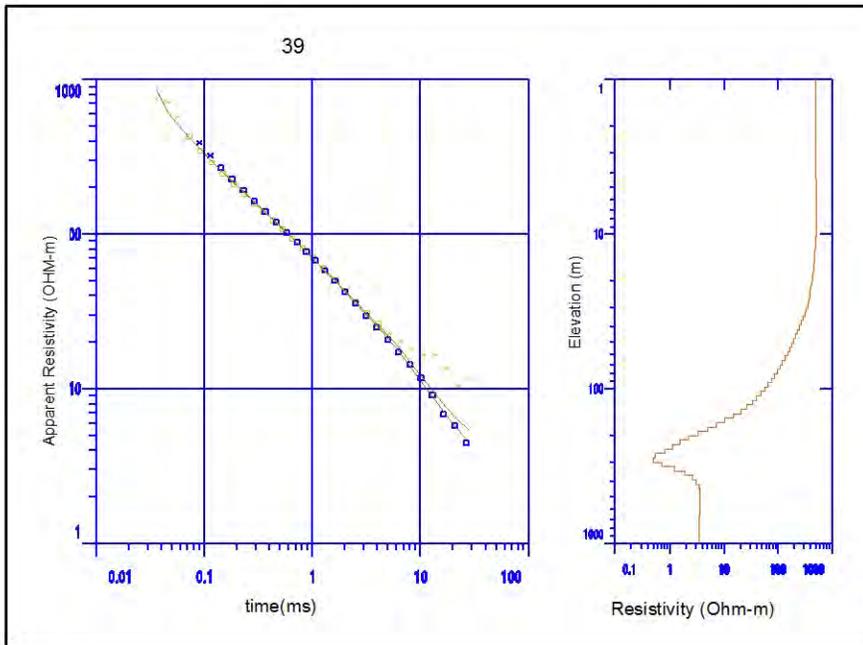
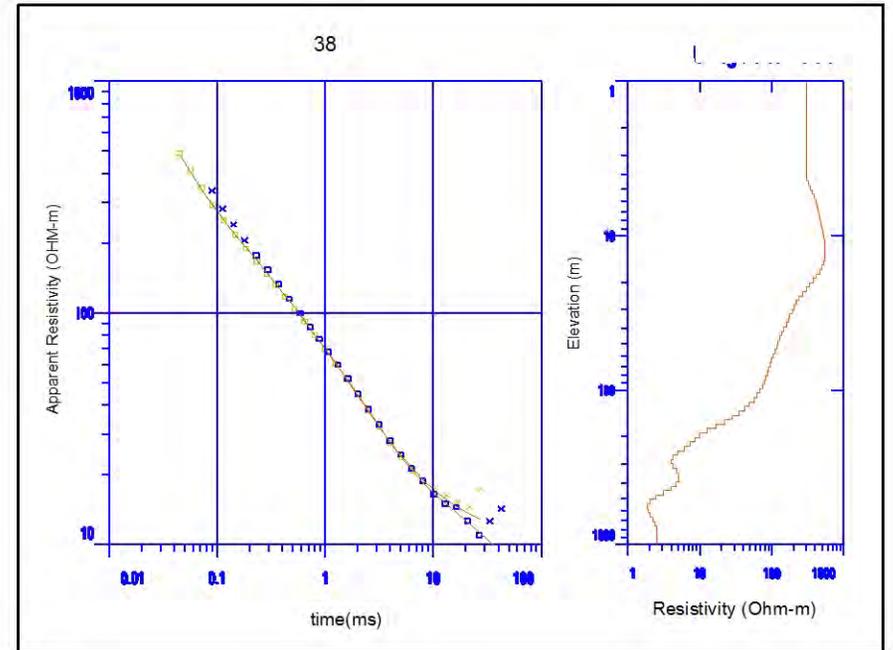
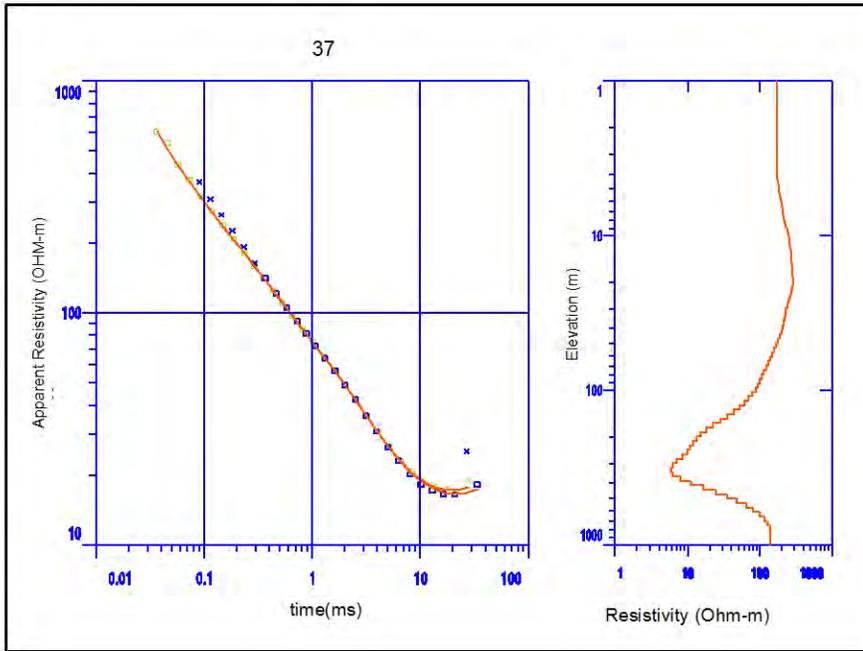
Perfiles TEM 1



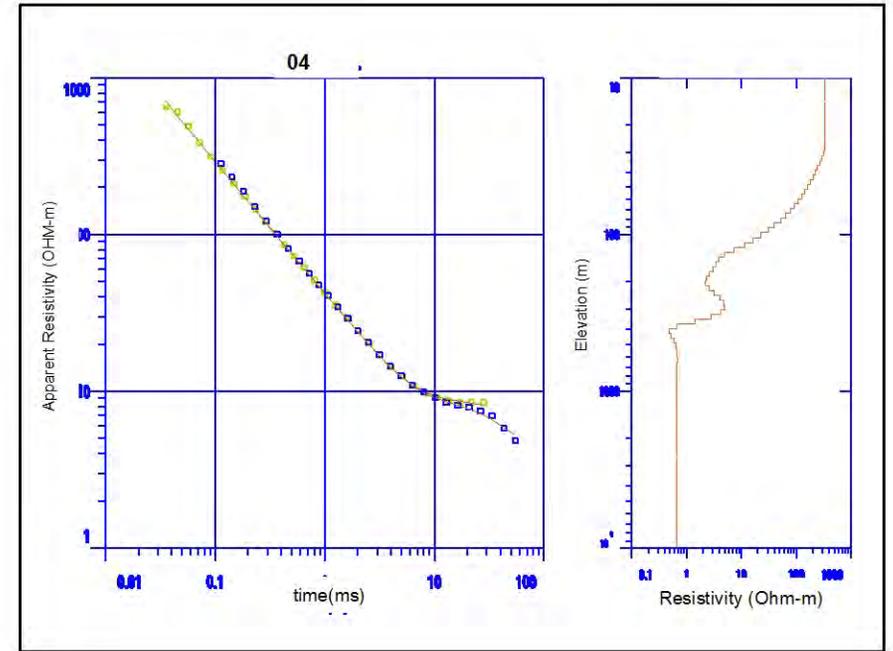
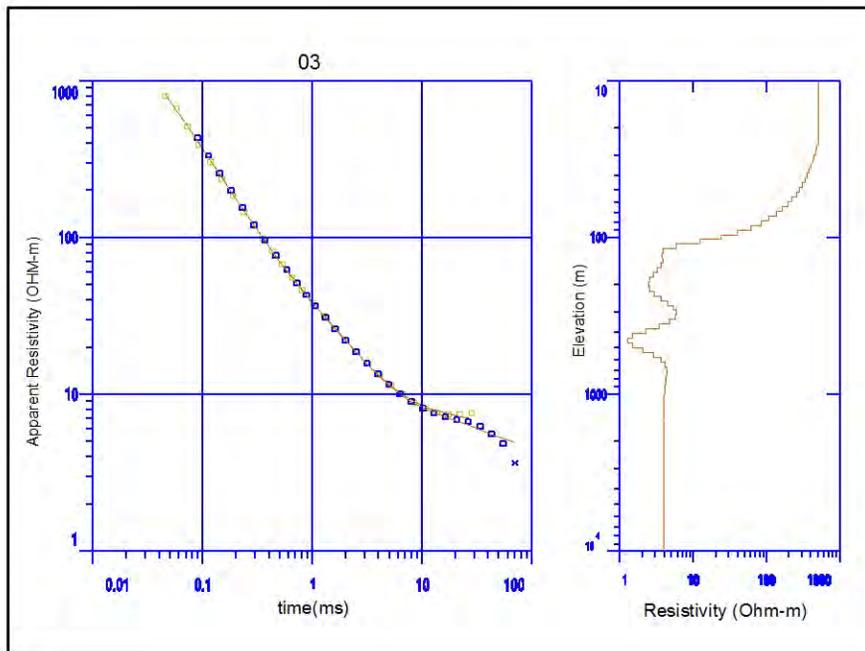
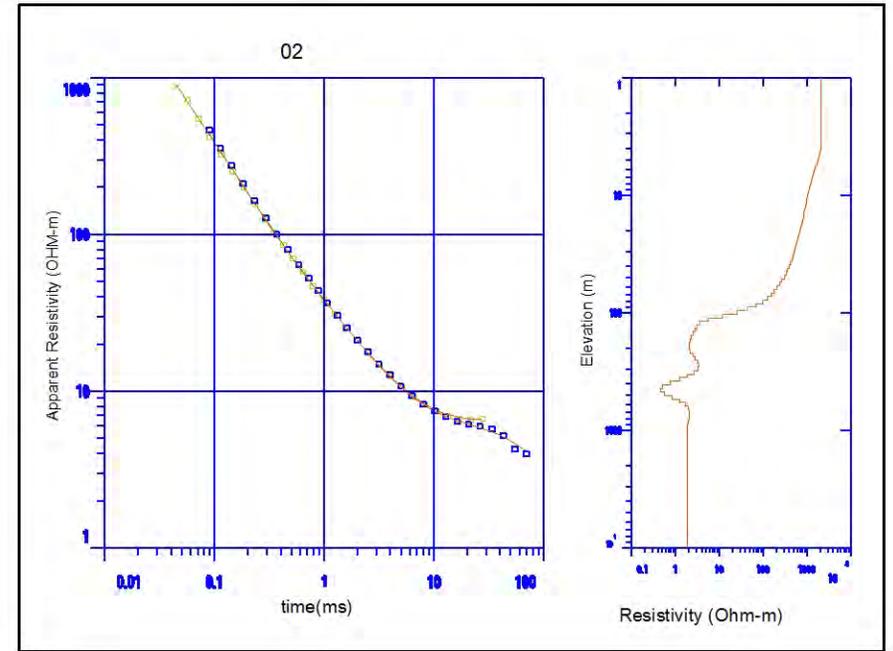
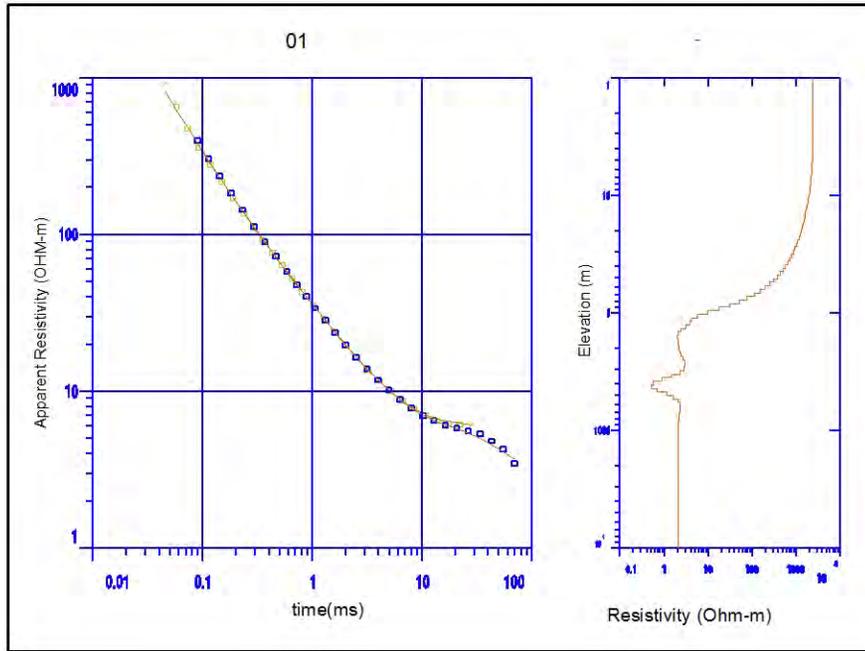
Perfiles TEM 1



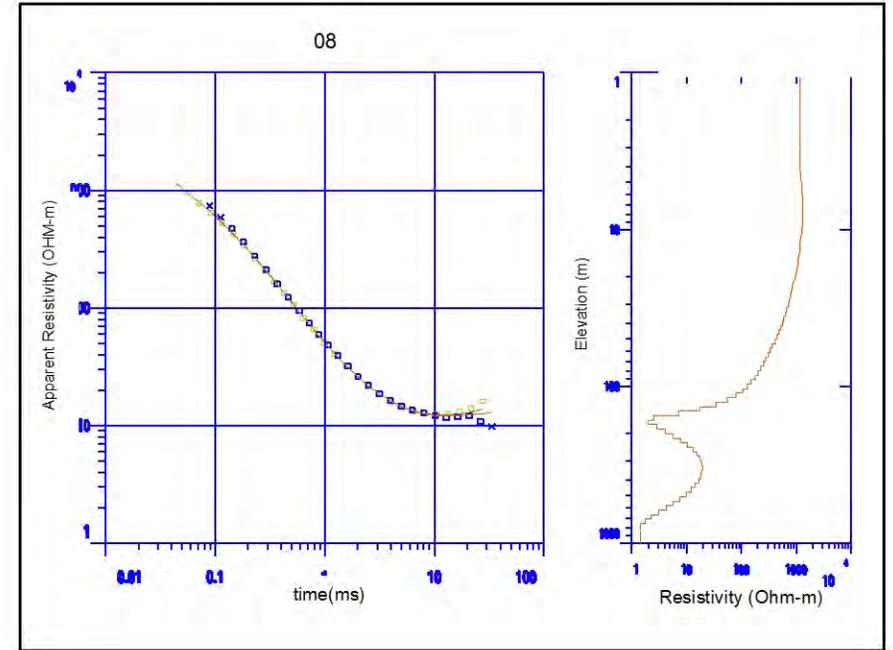
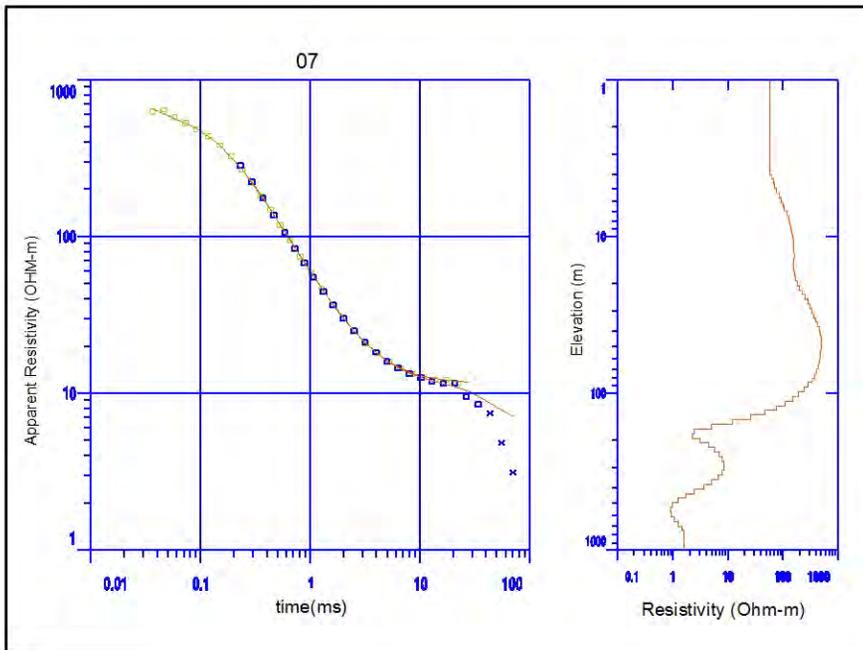
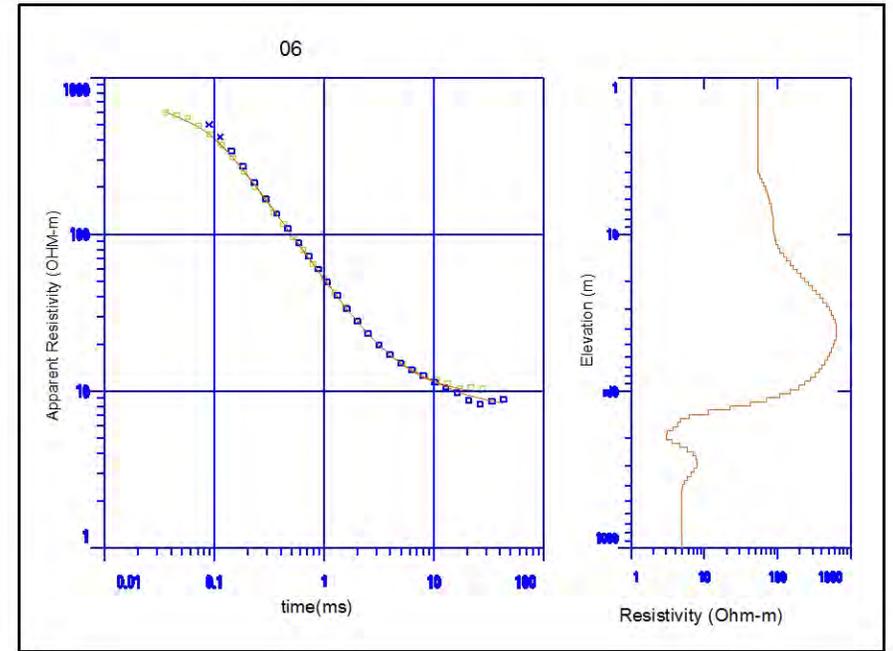
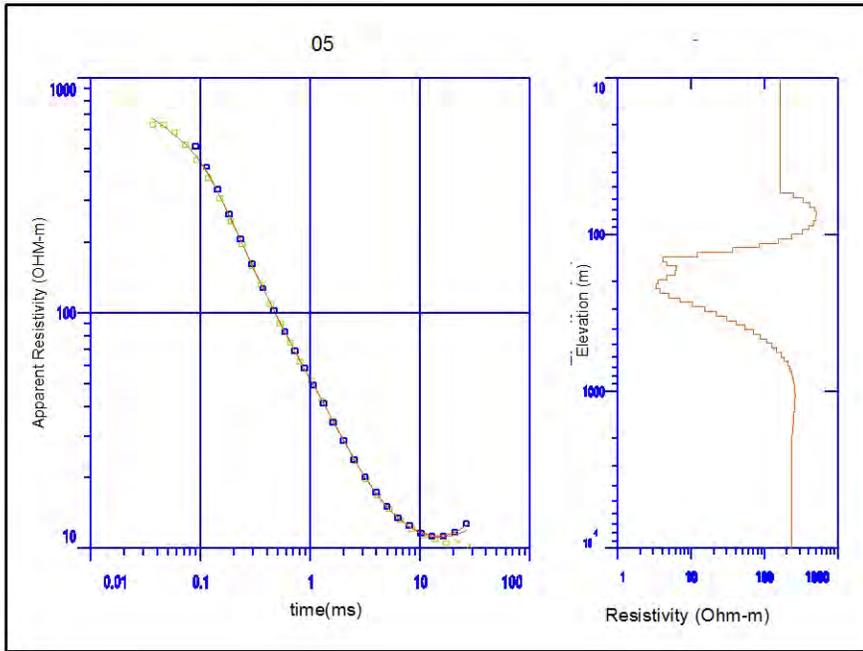
Perfiles TEM 1



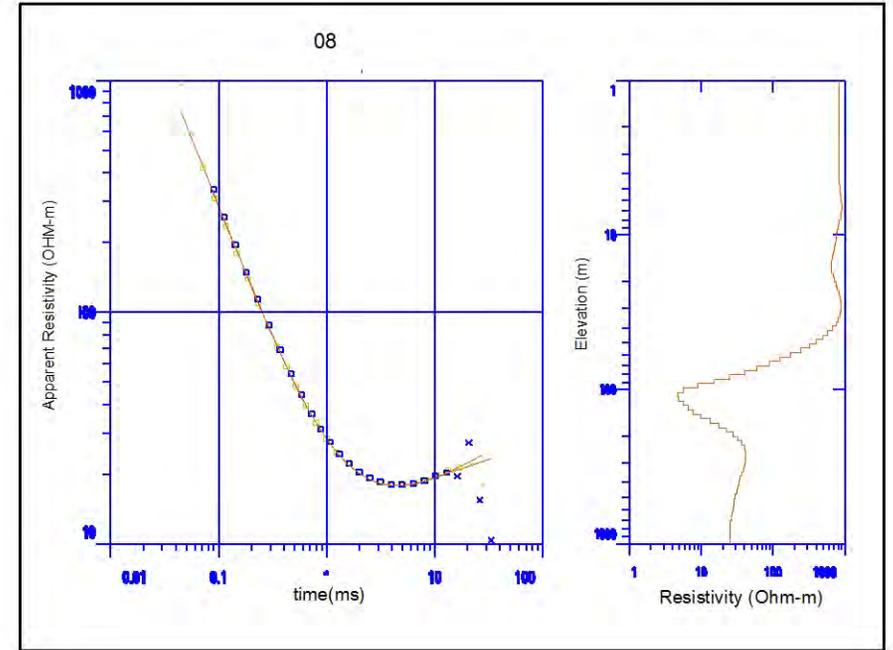
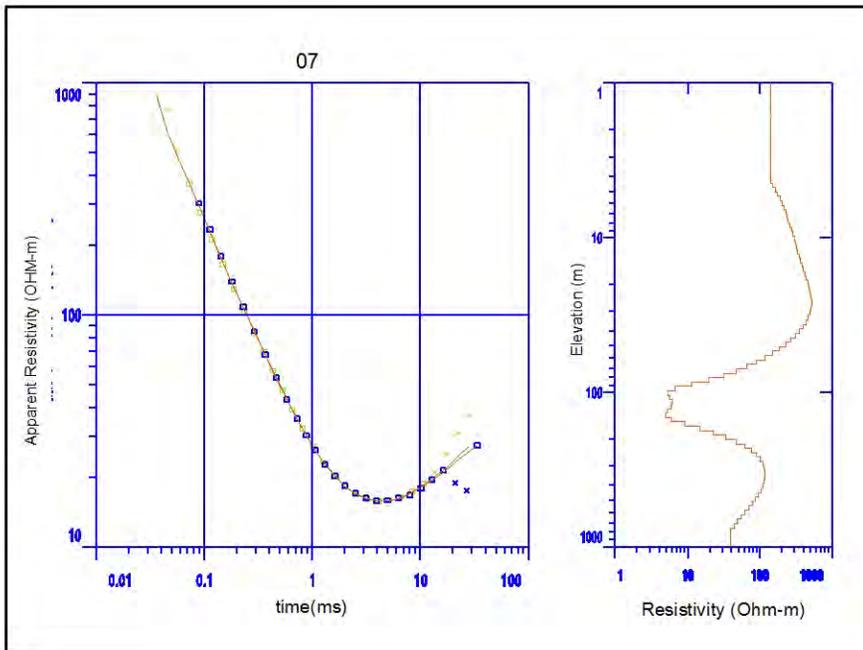
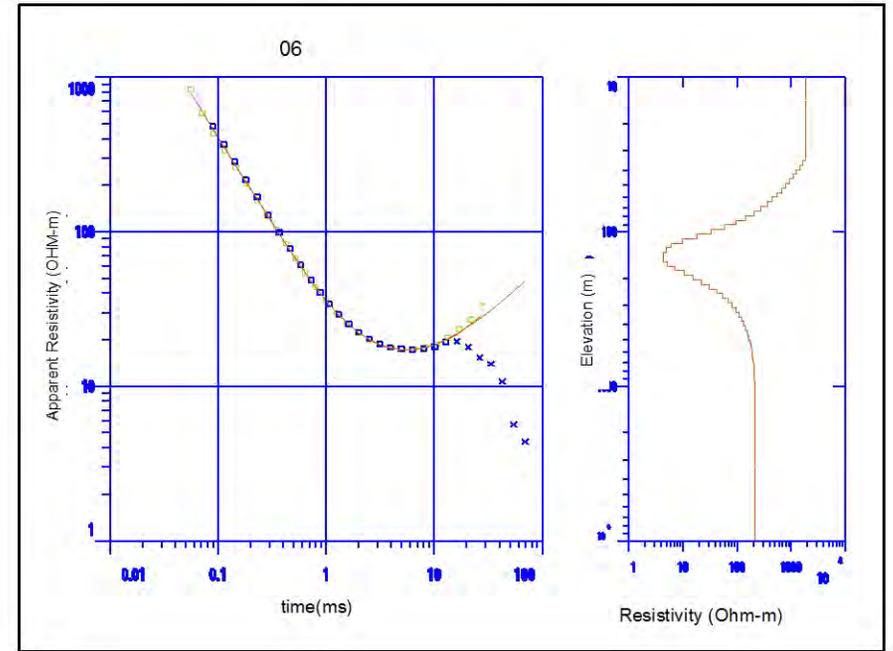
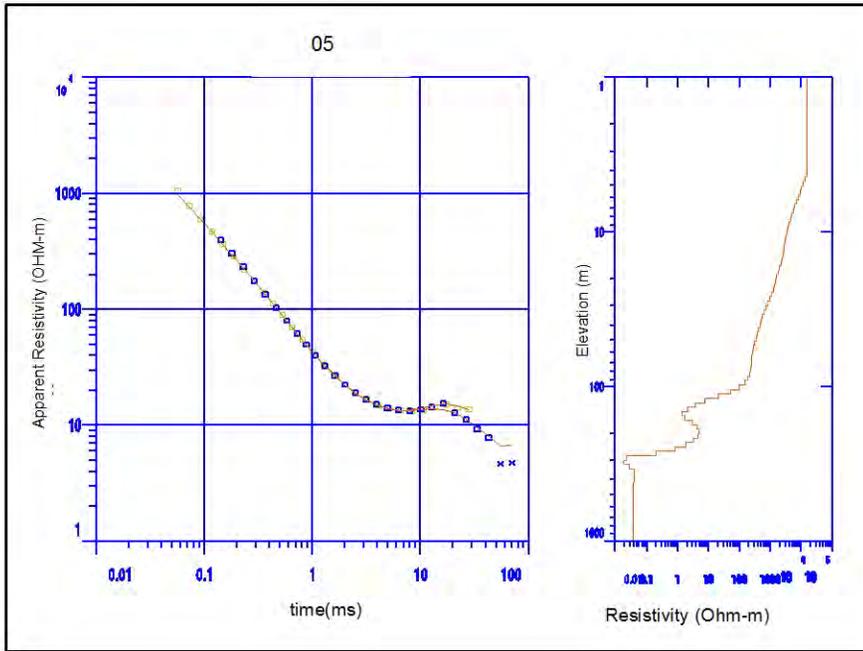
Perfiles TEM 2



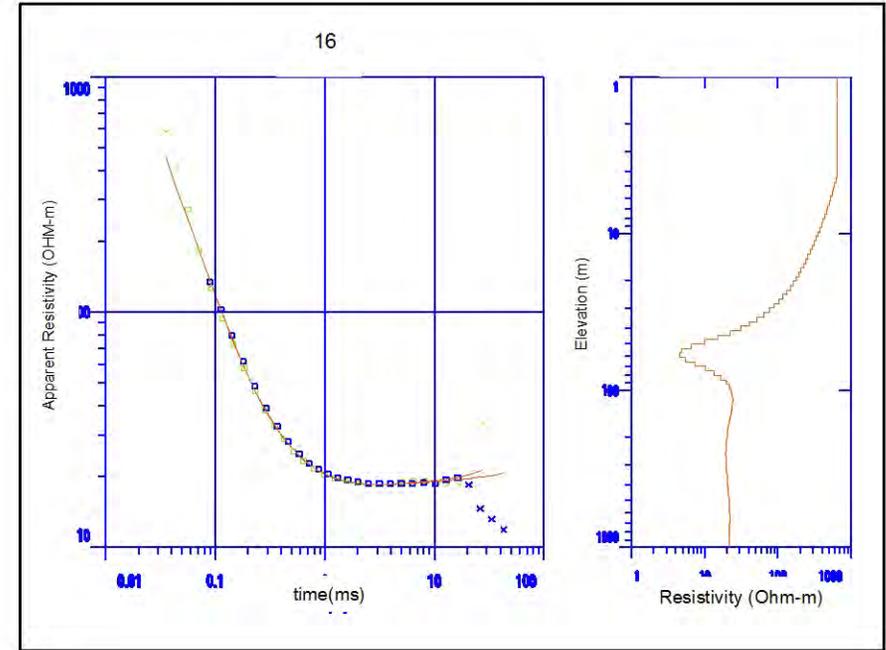
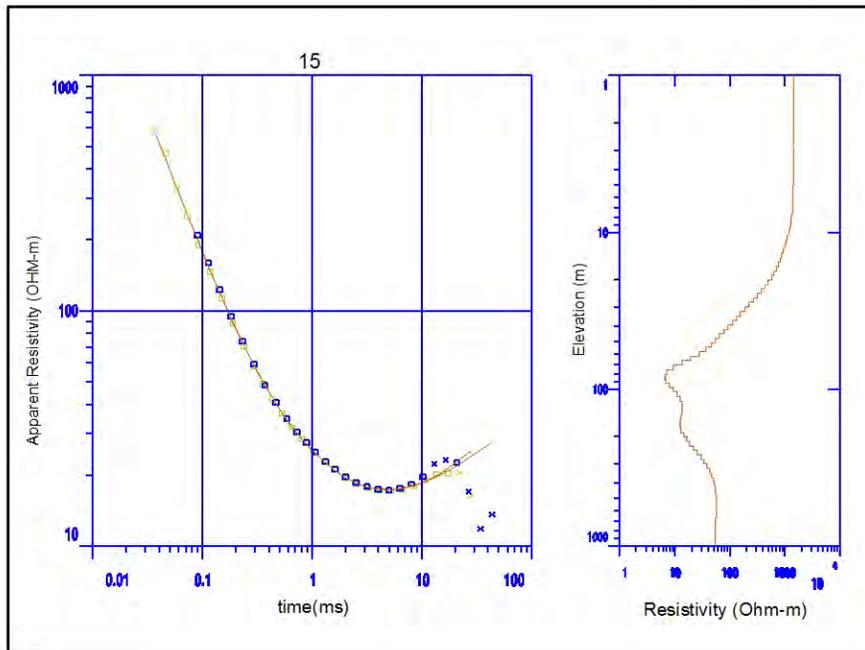
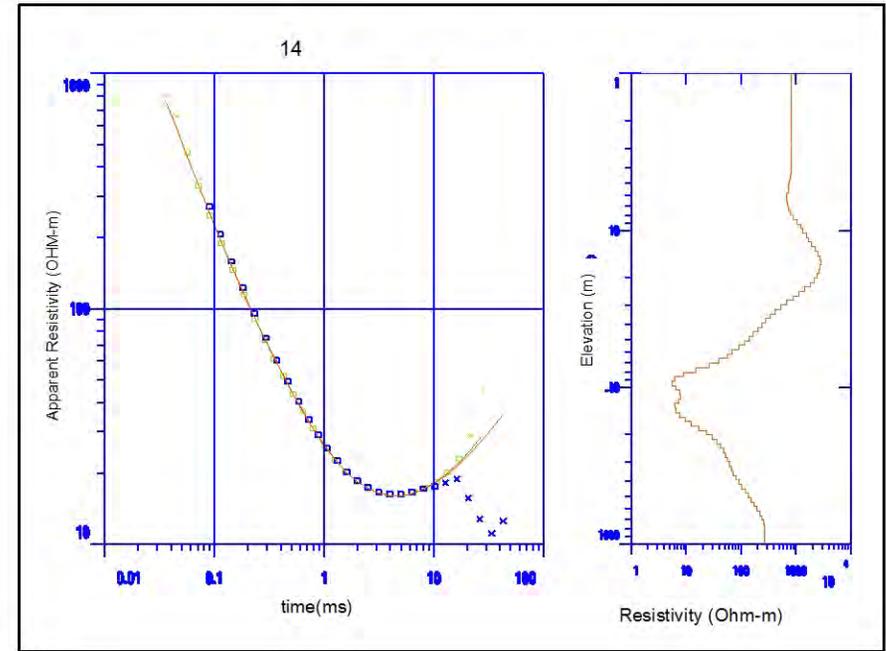
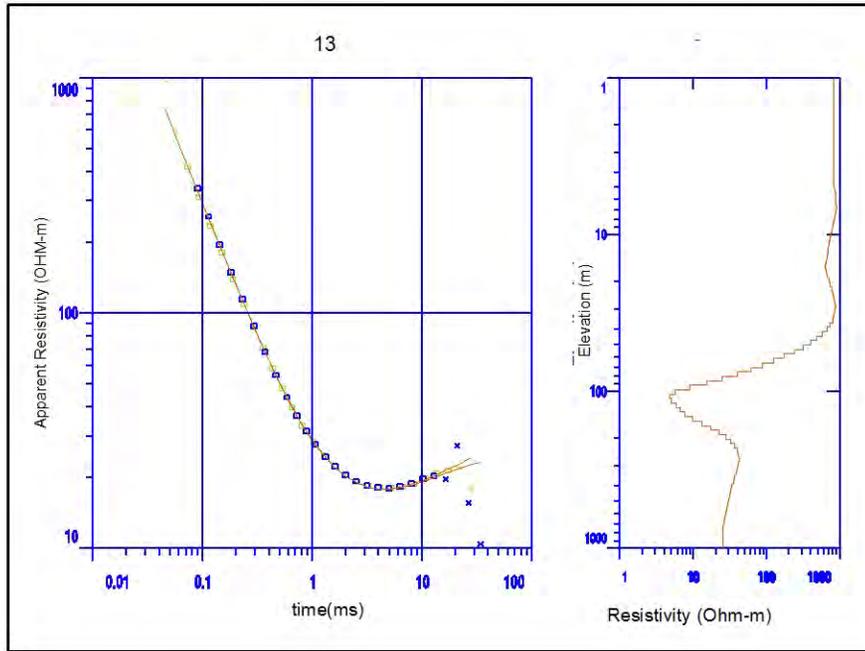
Perfiles TEM 2



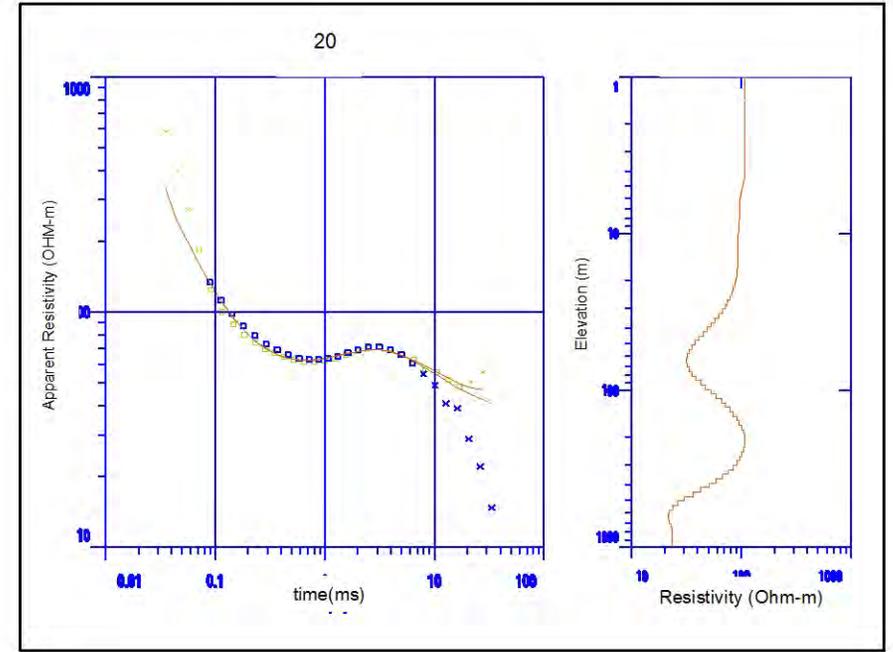
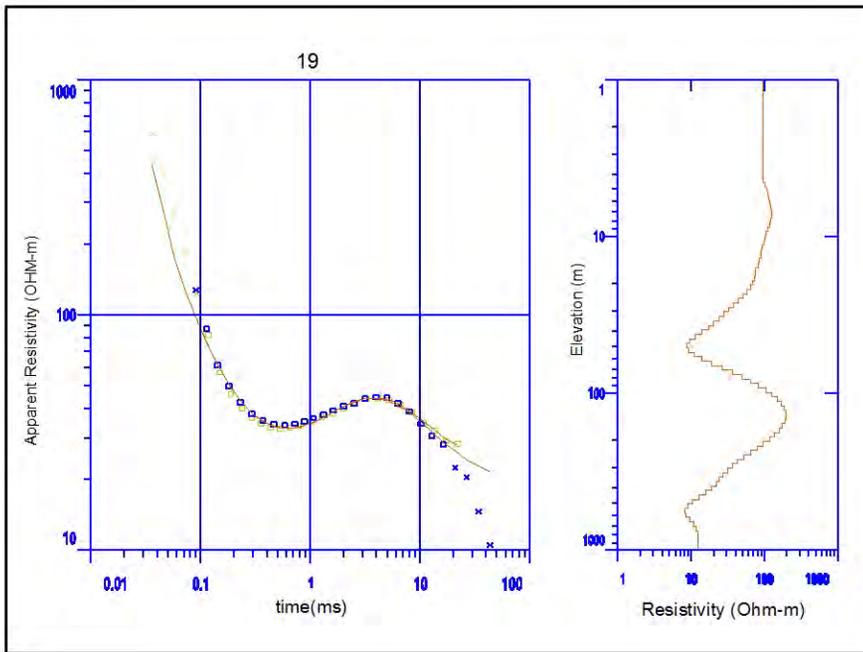
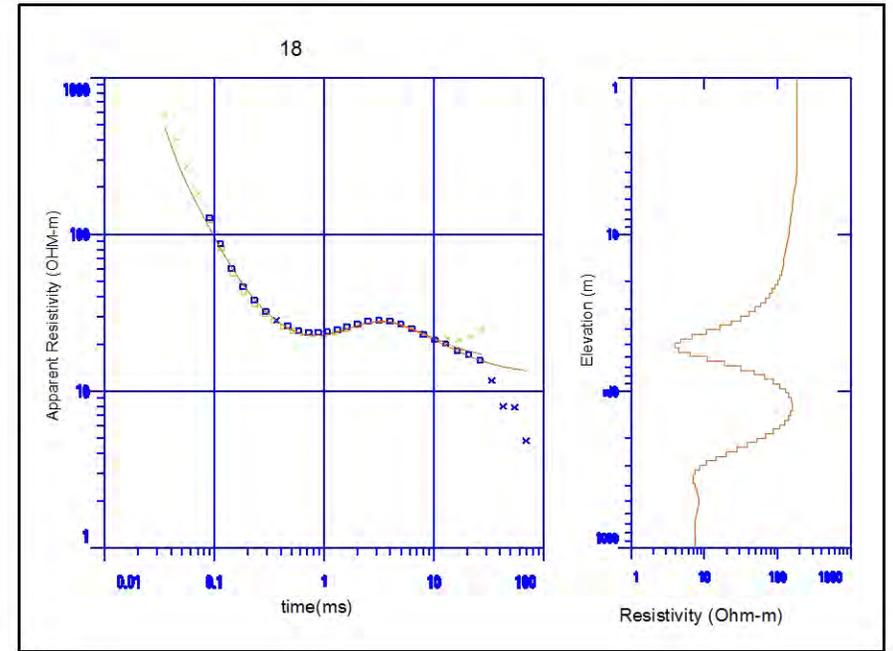
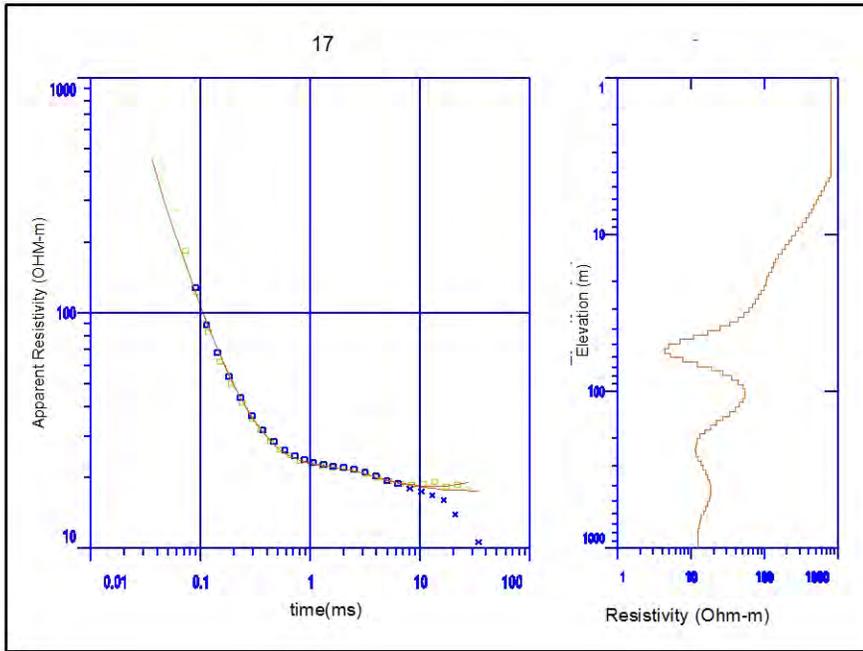
Perfiles TEM 2



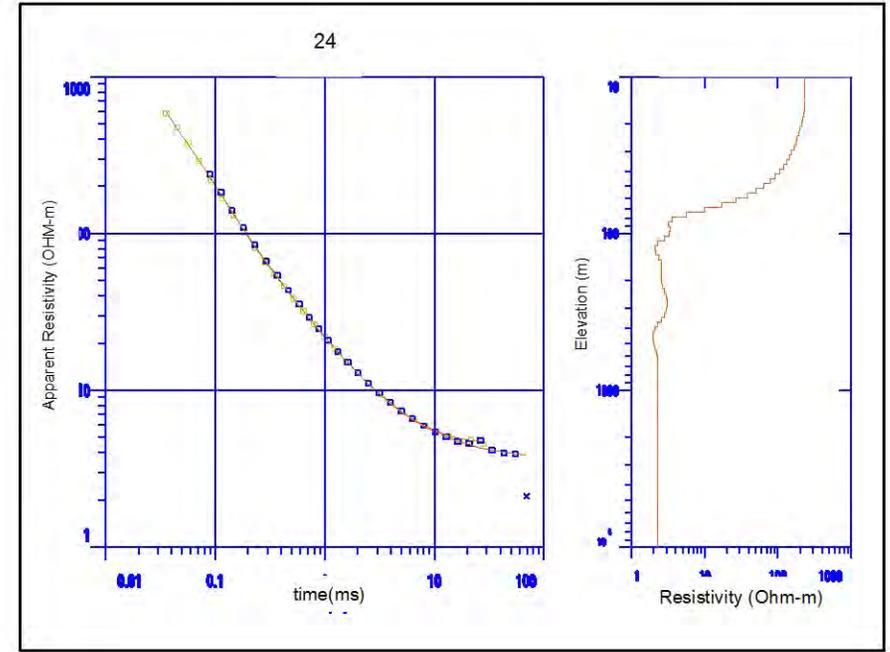
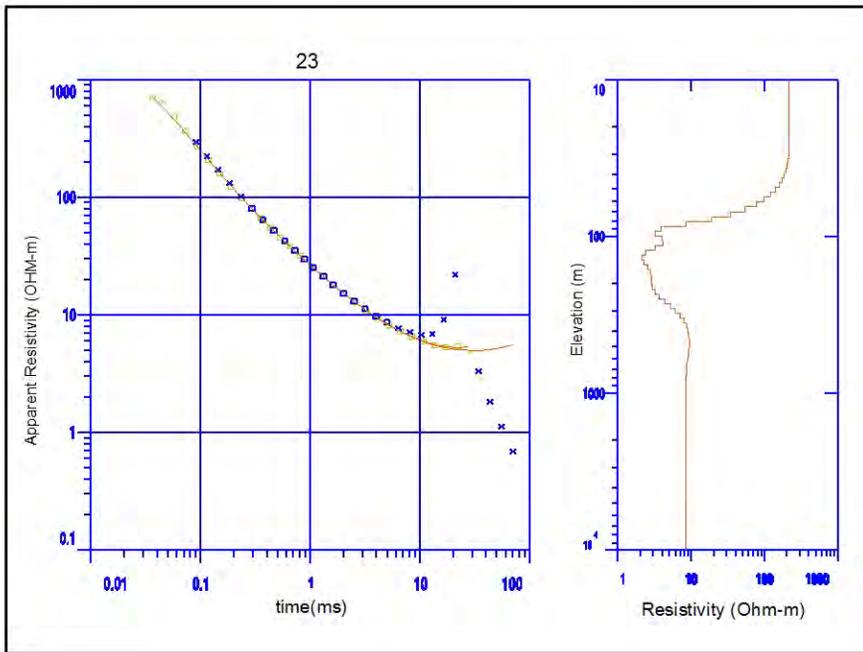
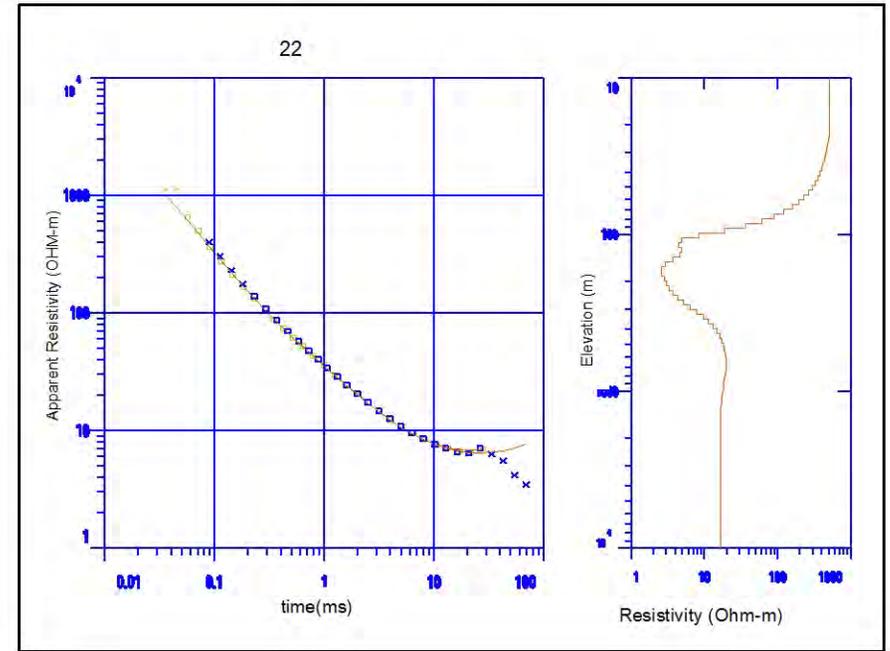
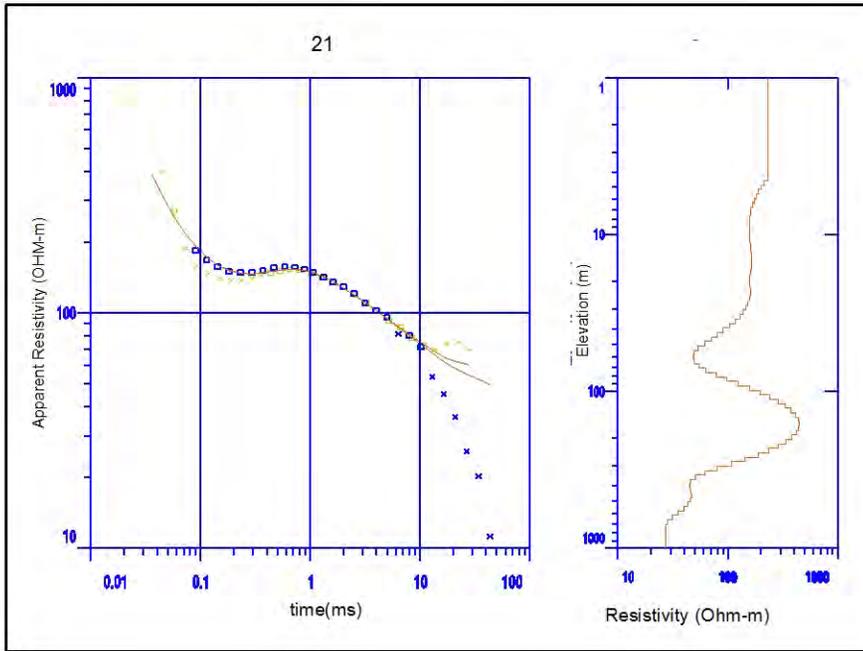
Perfiles TEM 2



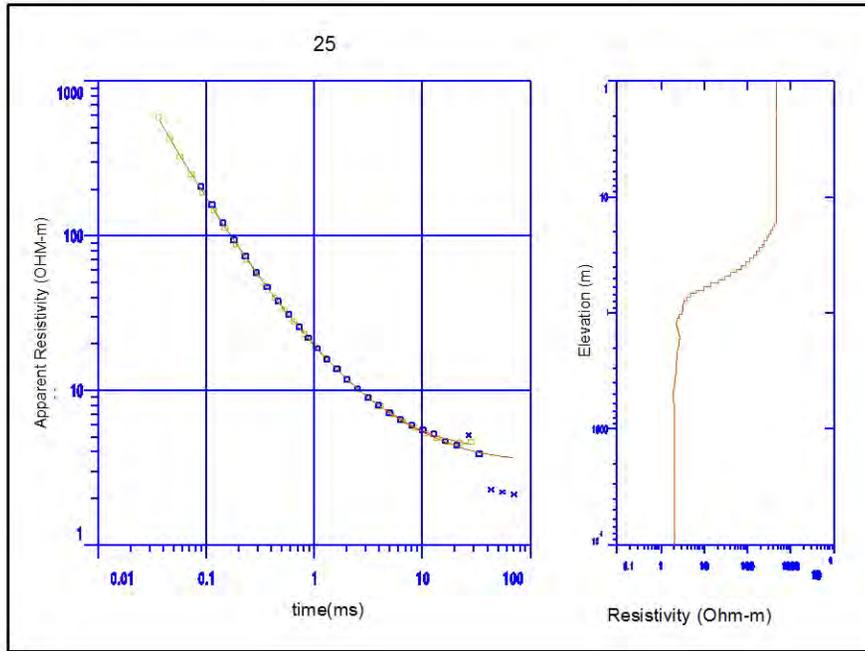
Perfiles TEM 2



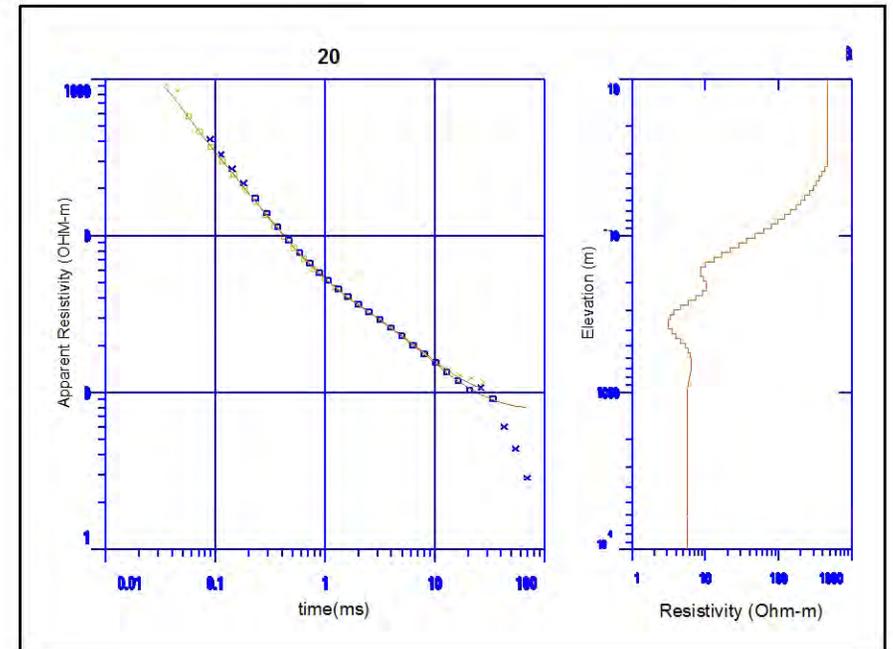
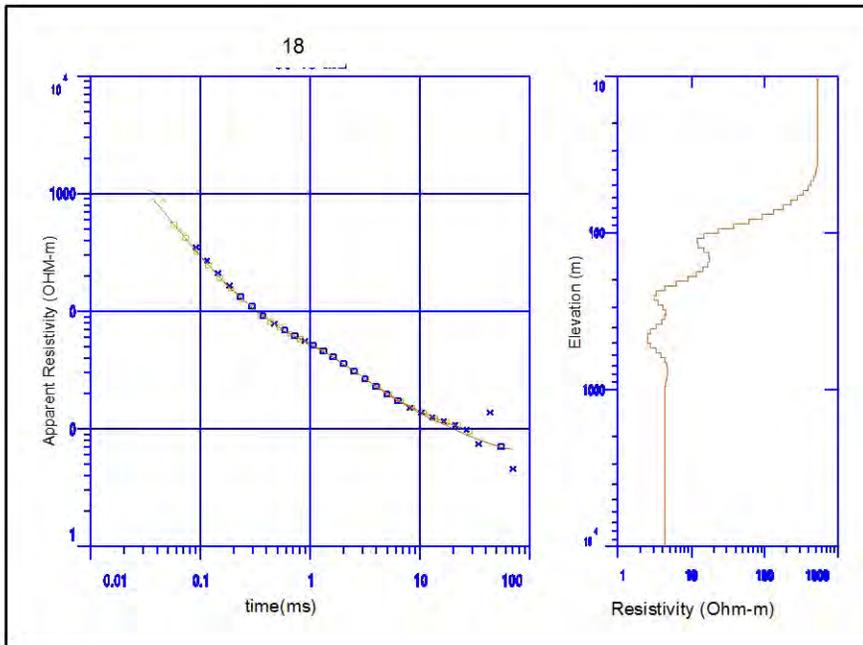
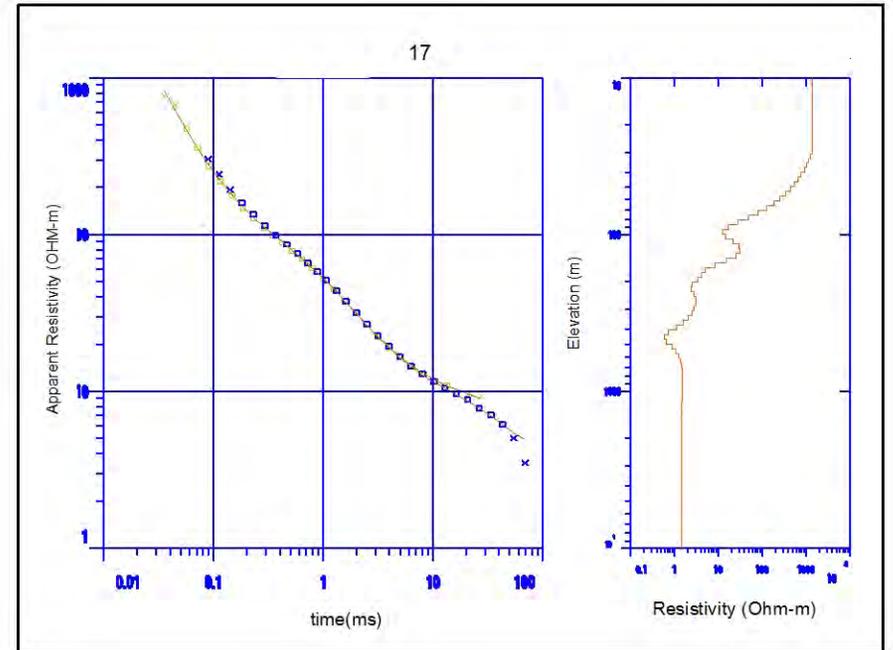
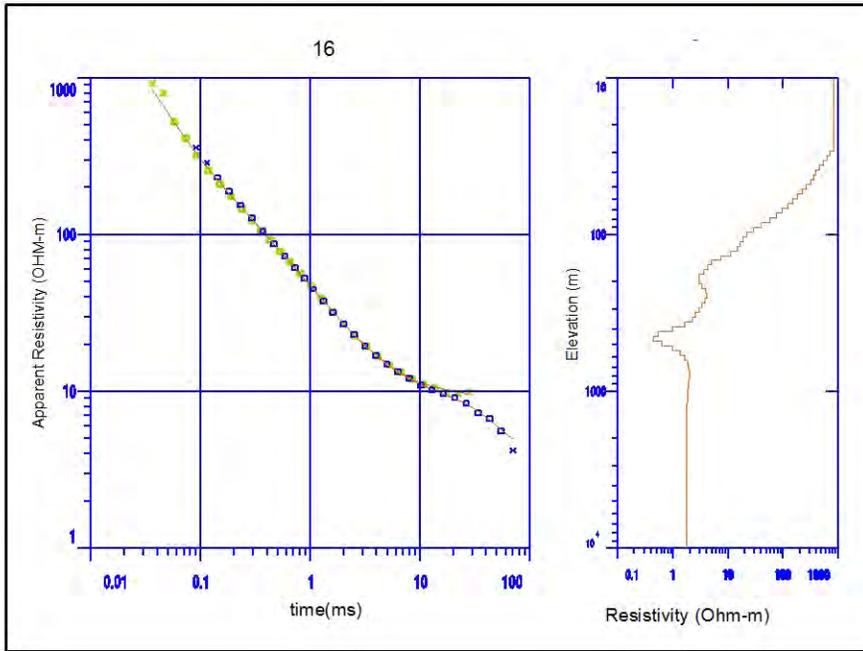
Perfiles TEM 2



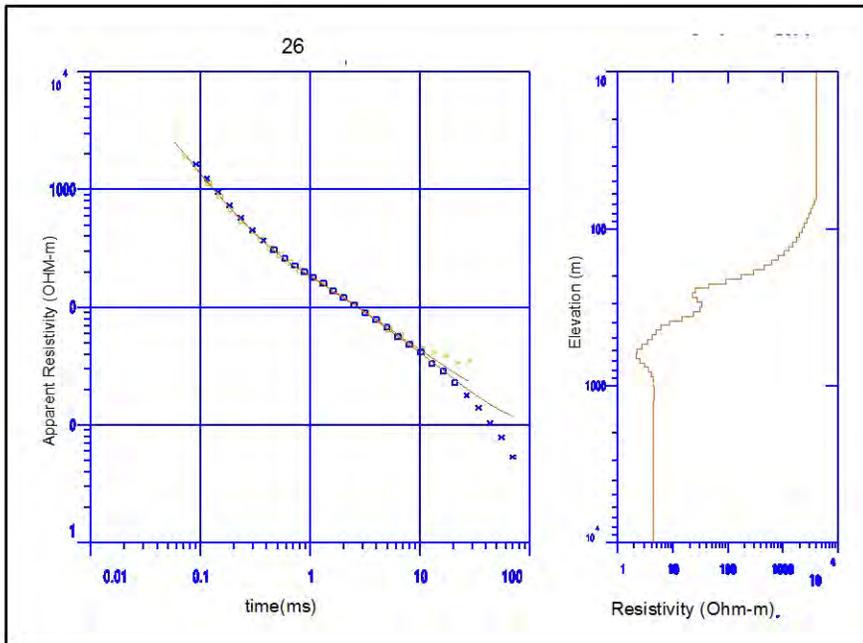
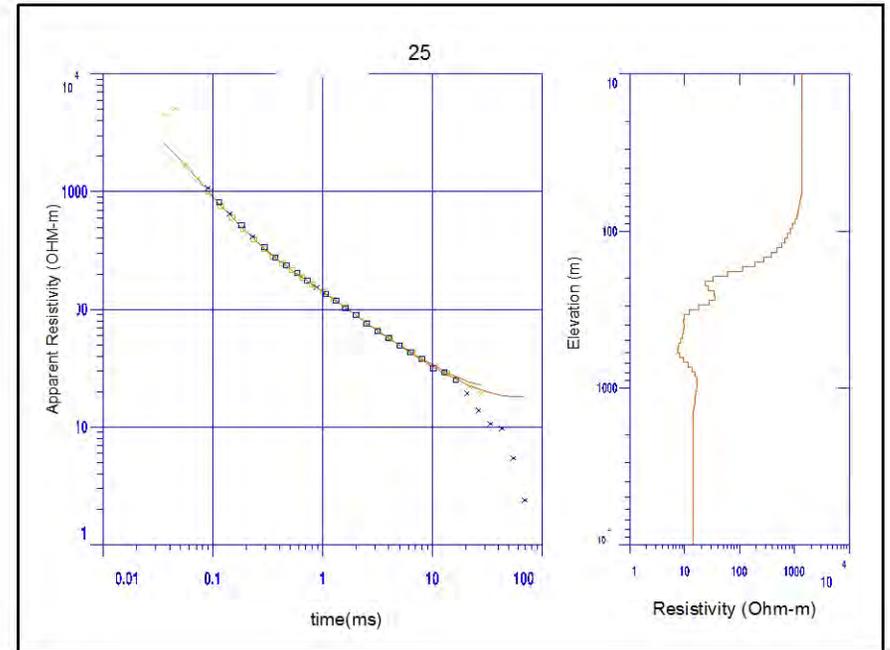
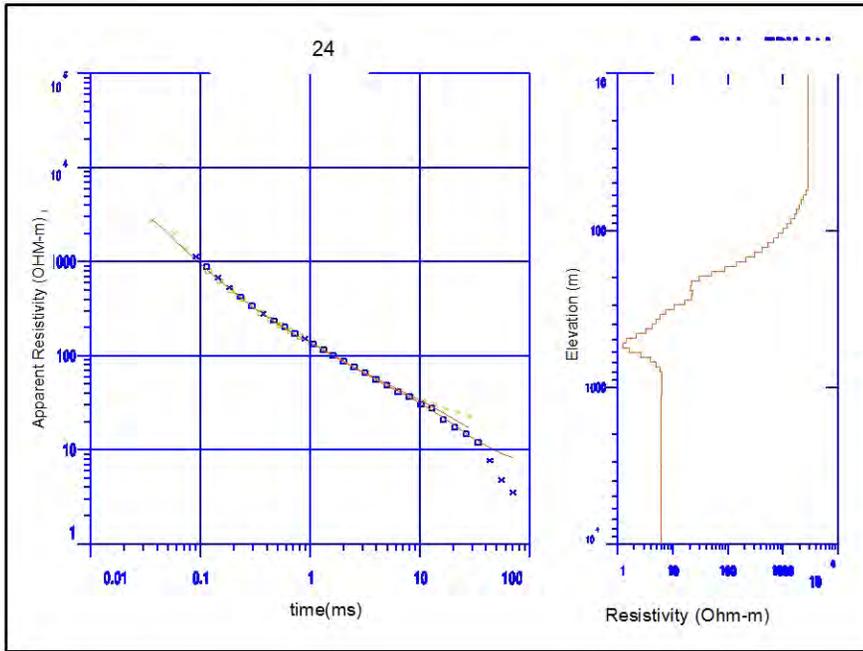
Perfiles TEM 2



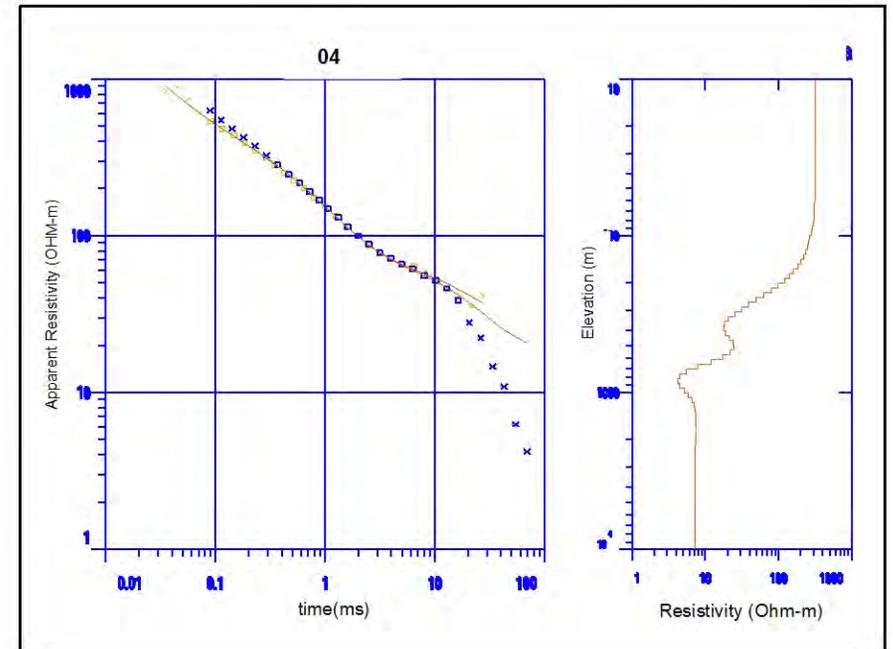
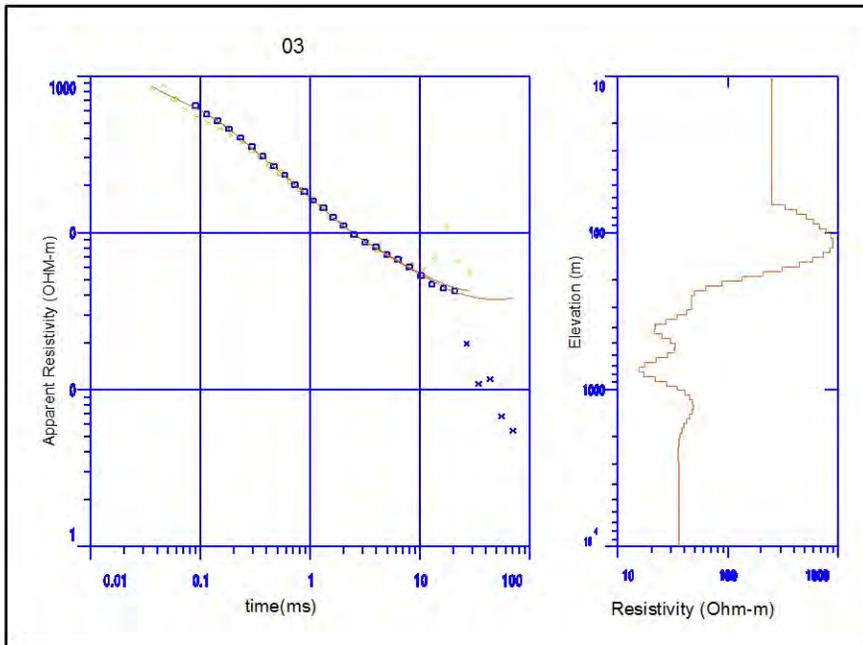
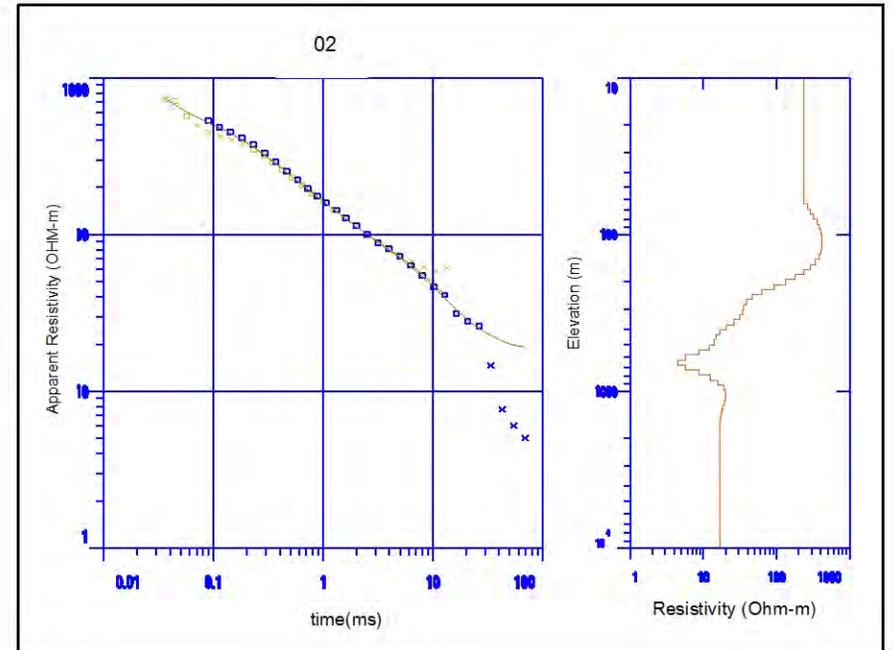
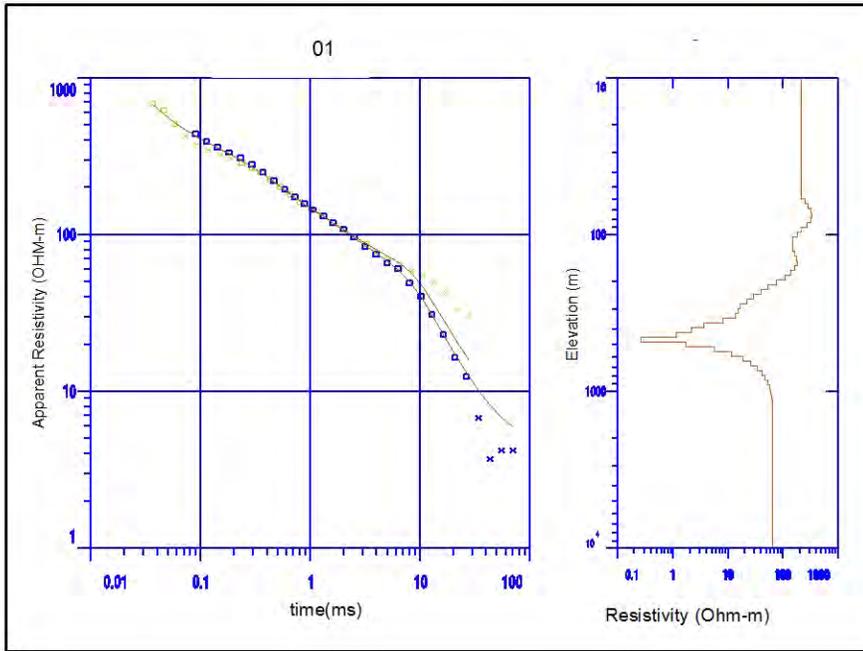
Perfiles TEM 3



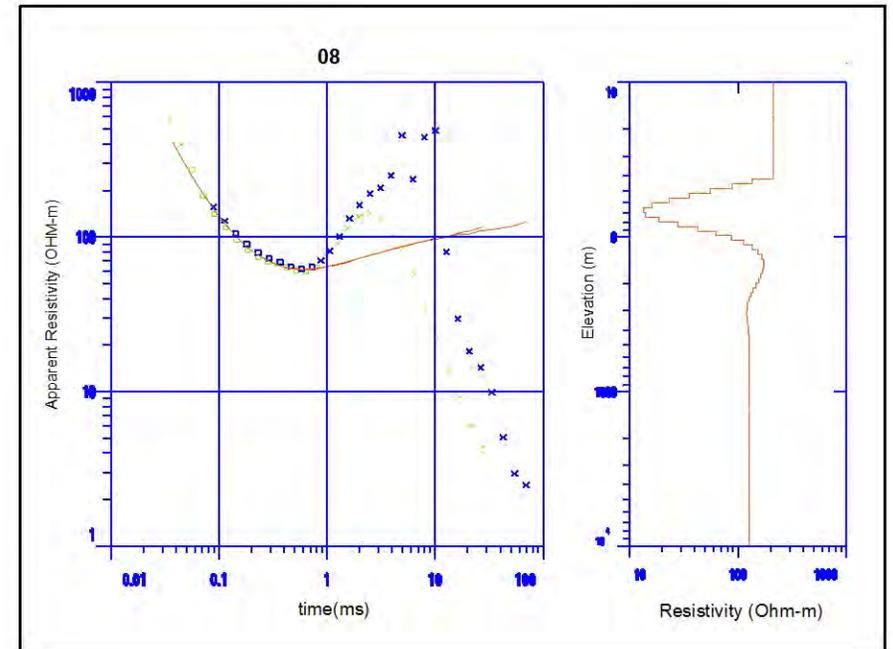
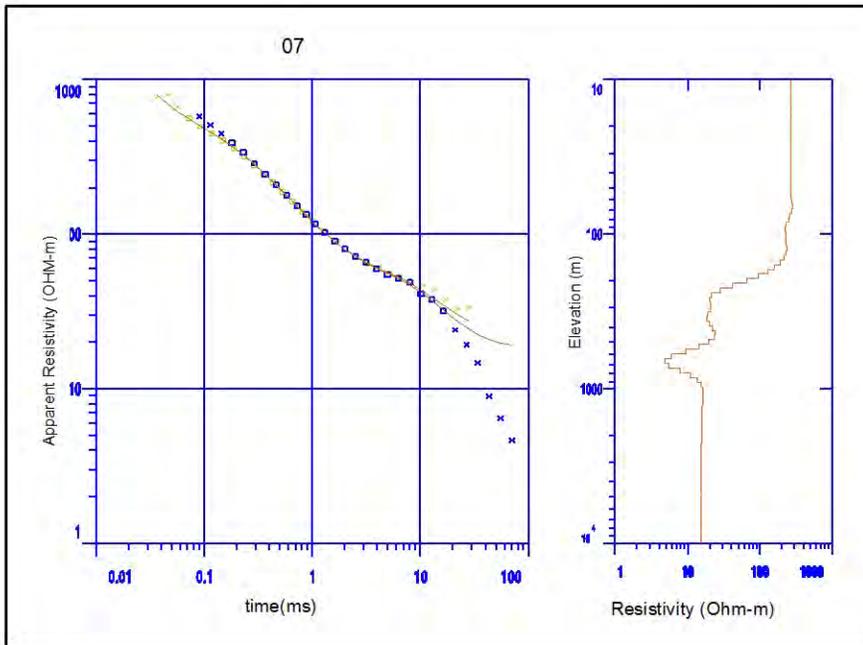
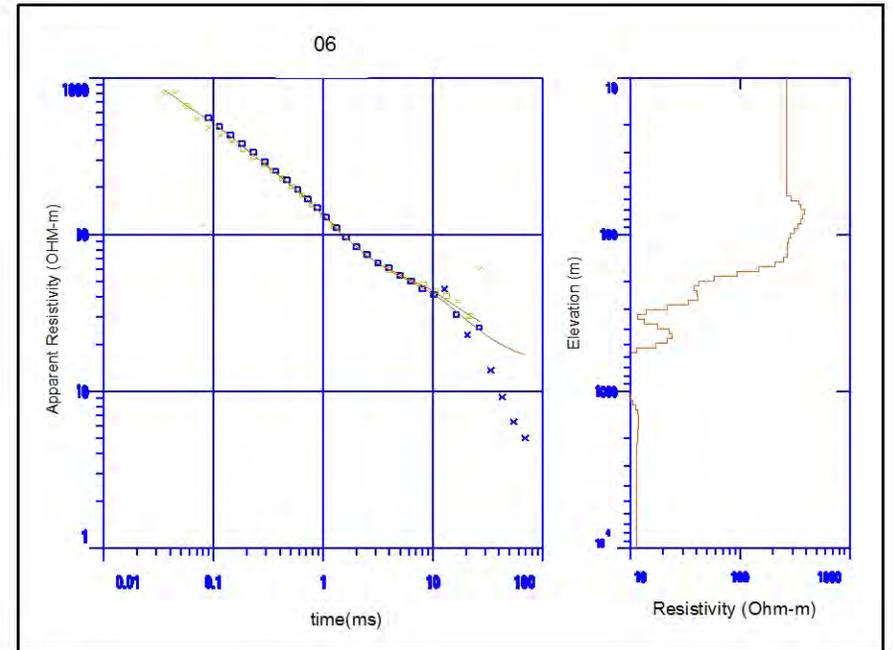
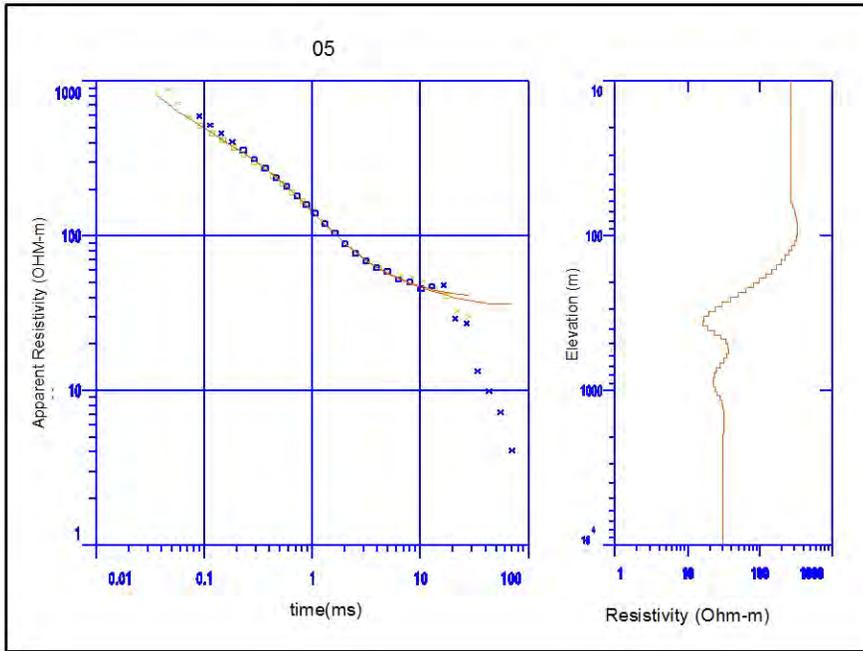
Perfiles TEM 3



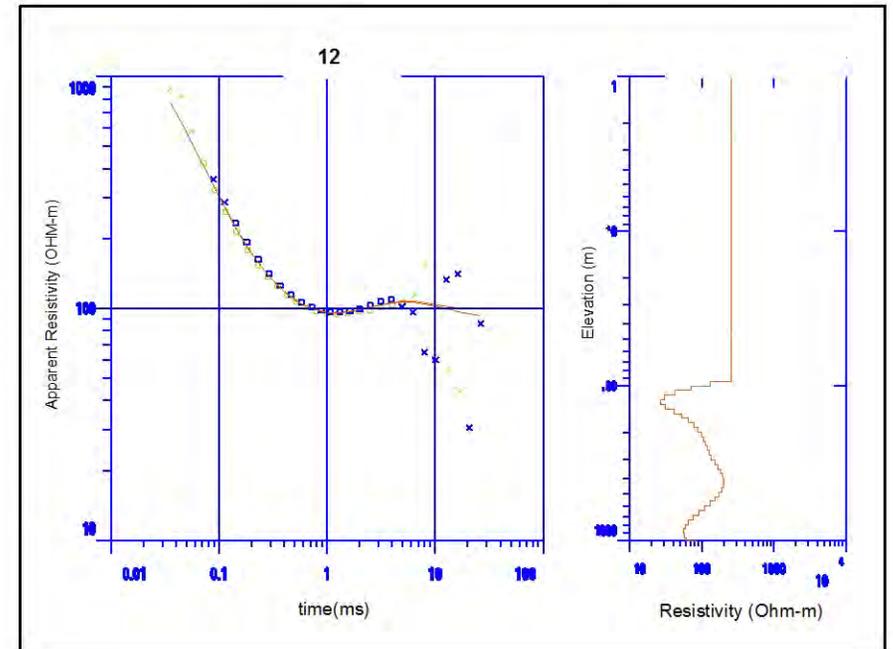
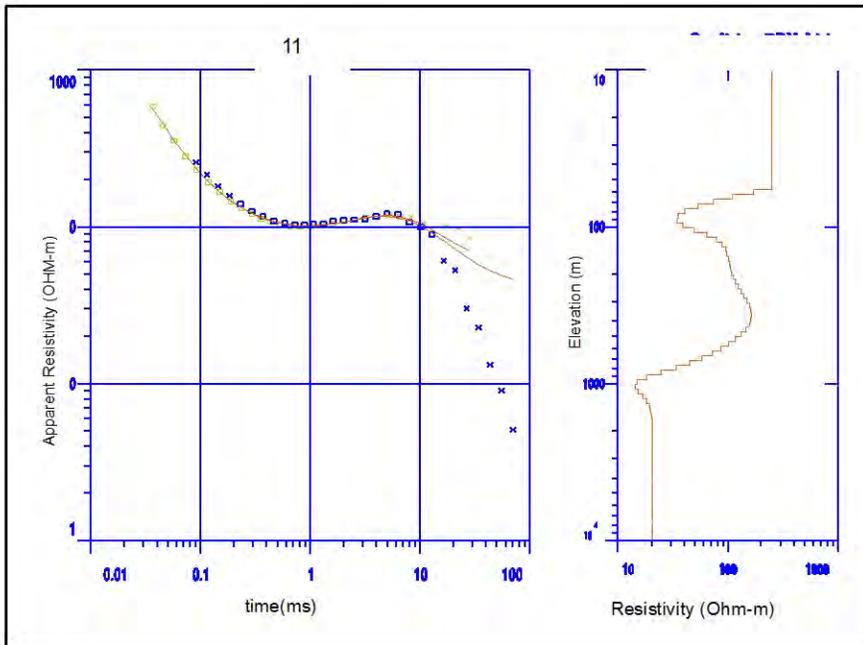
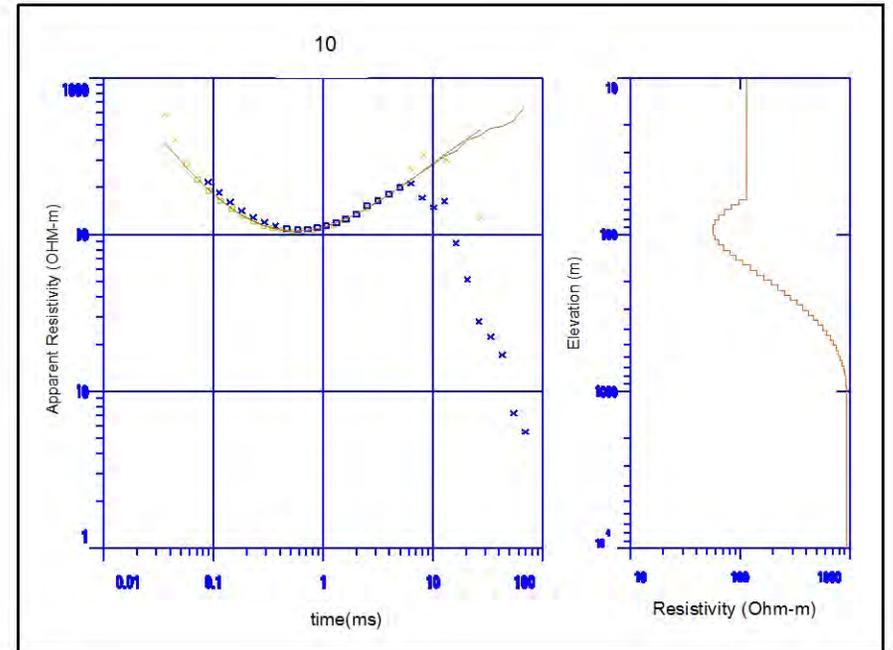
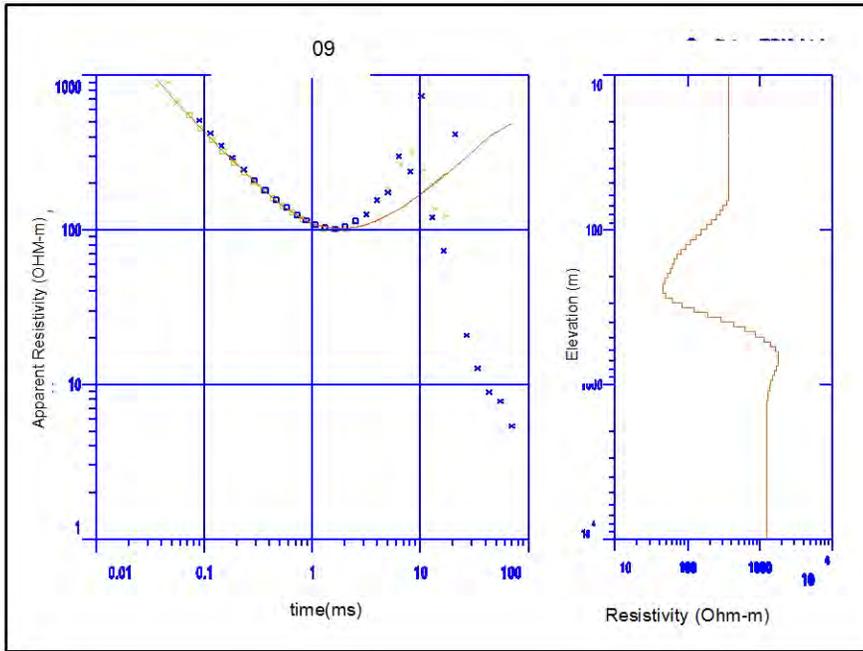
Perfiles TEM 4



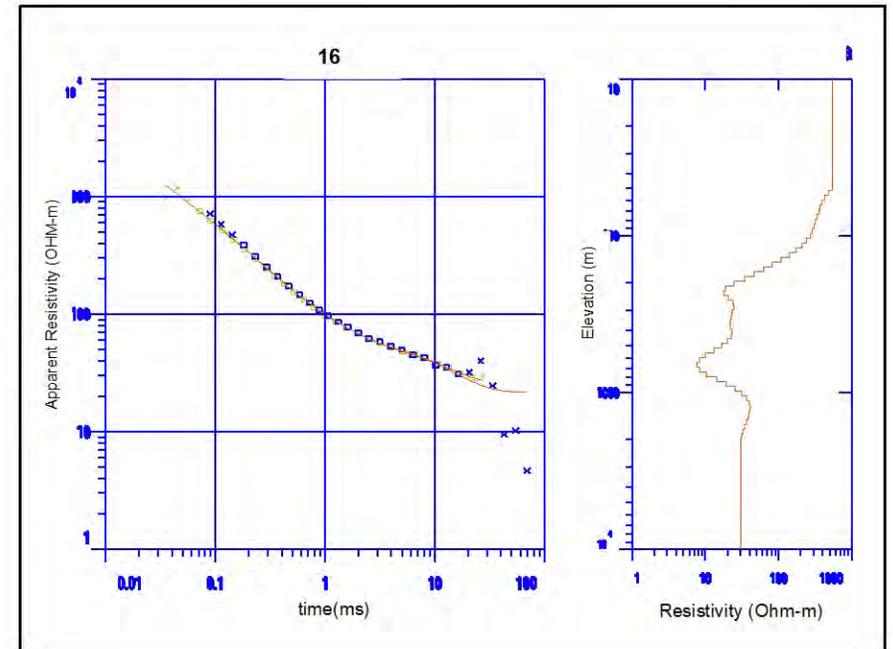
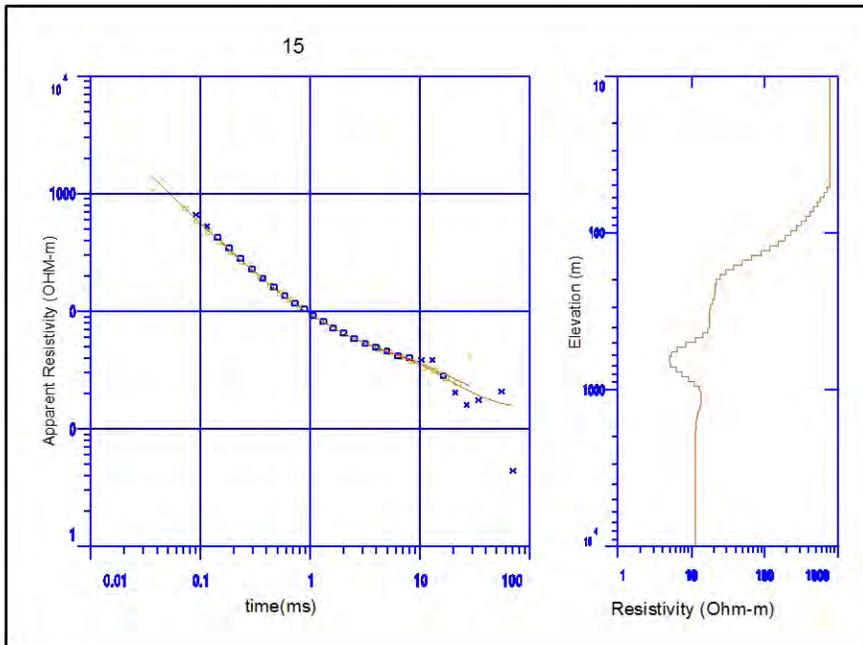
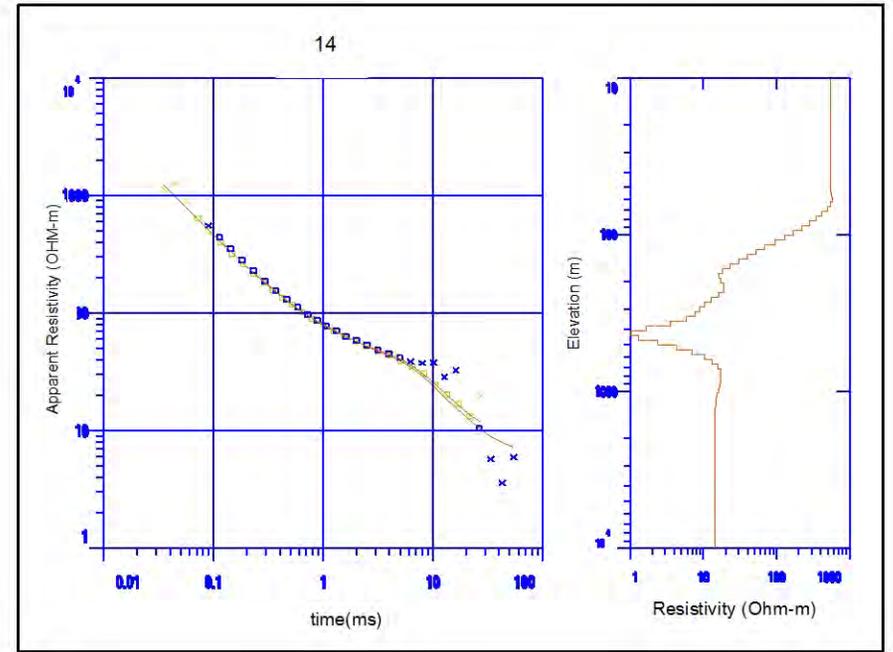
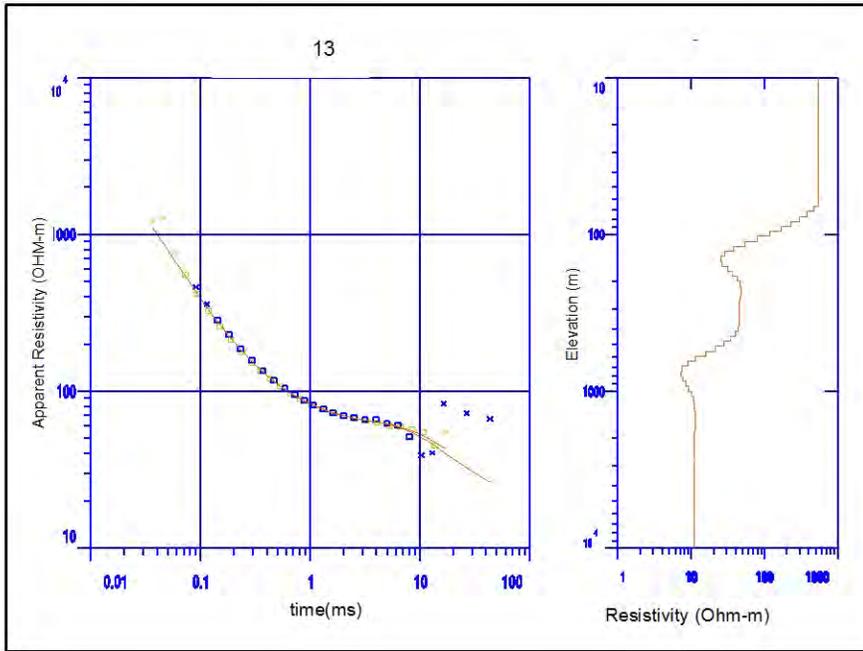
Perfiles TEM 4



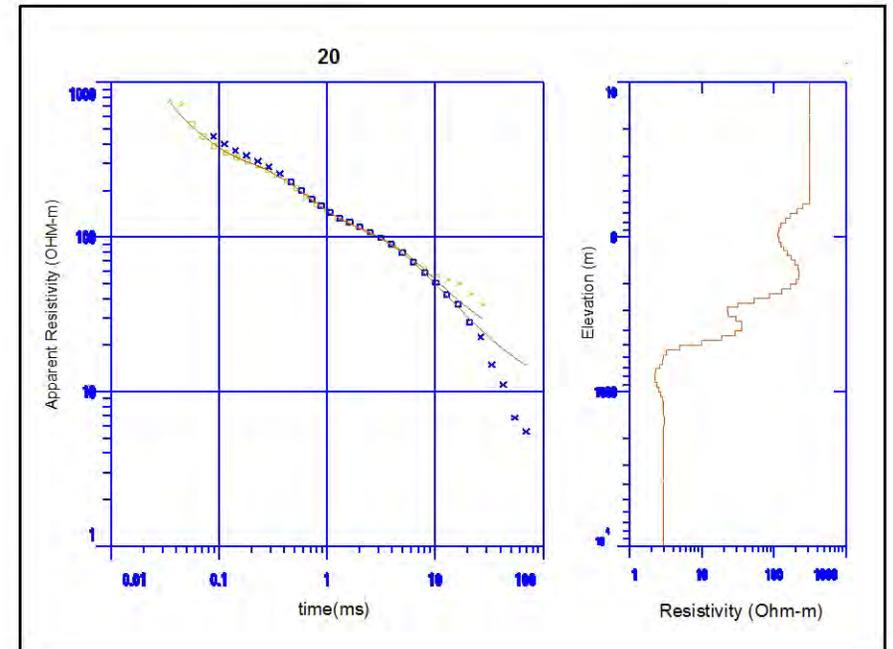
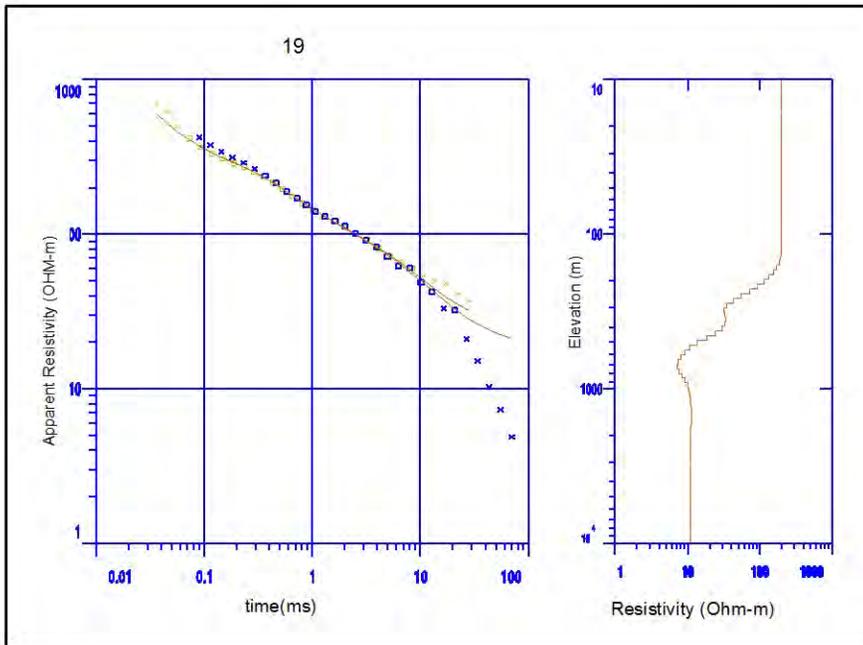
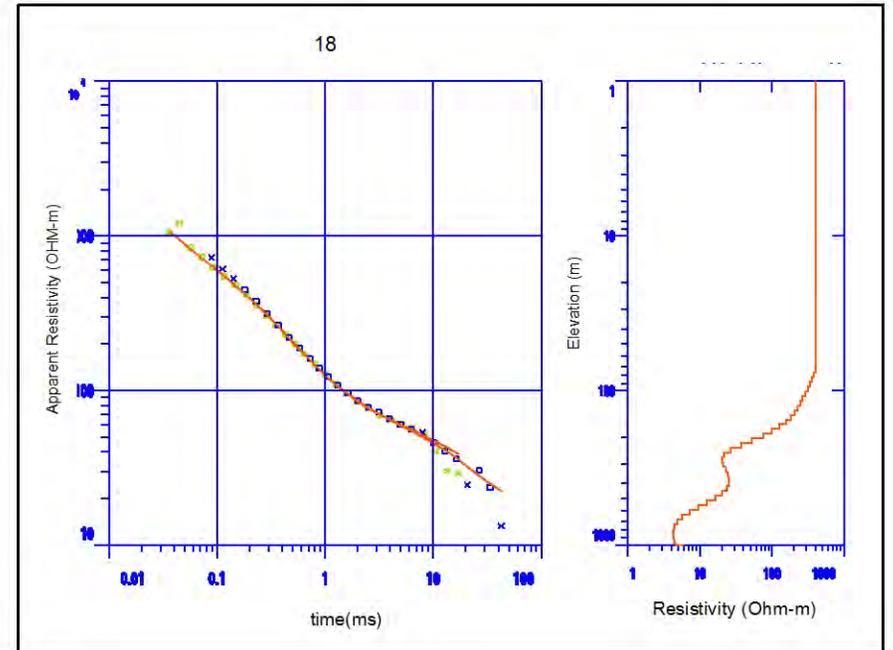
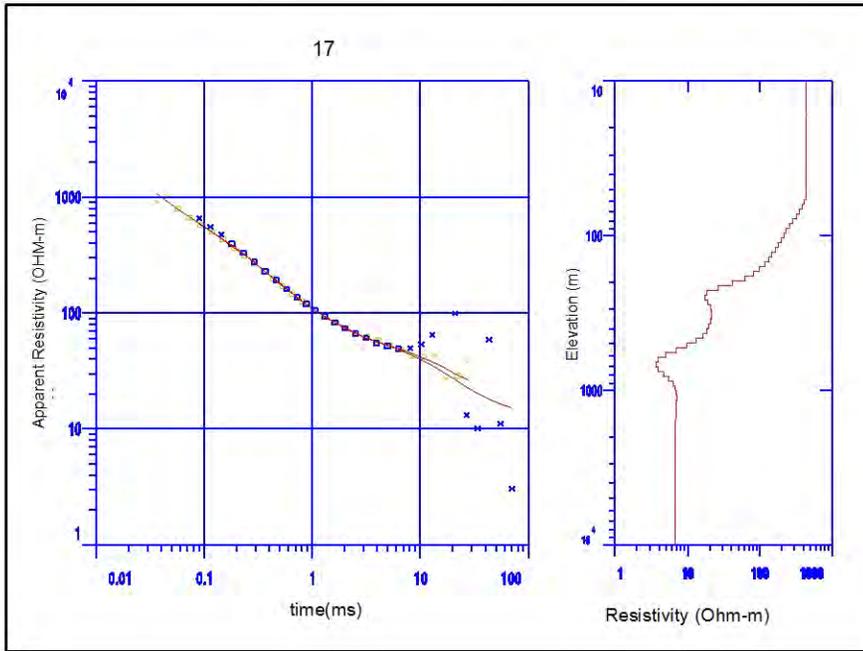
Perfiles TEM 4



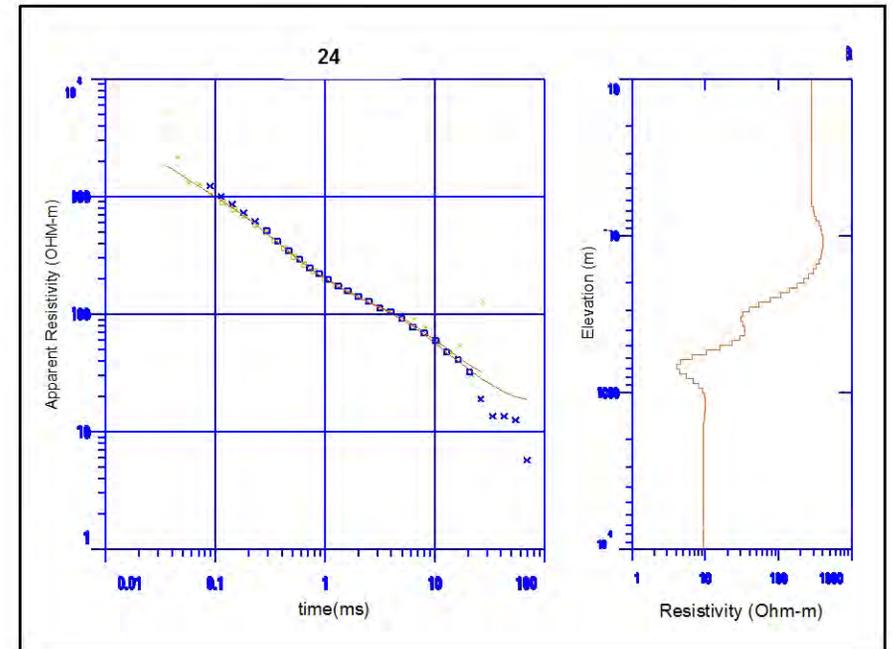
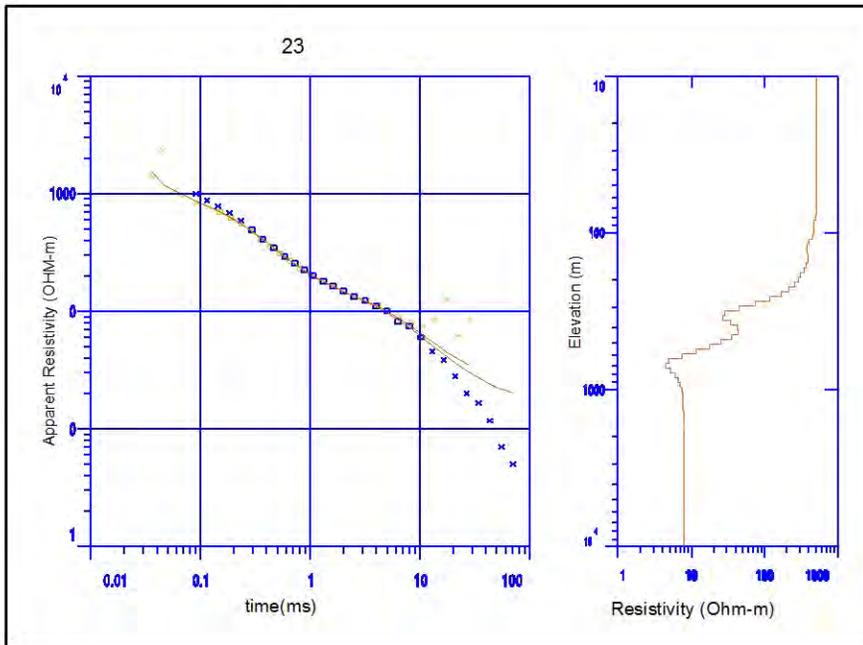
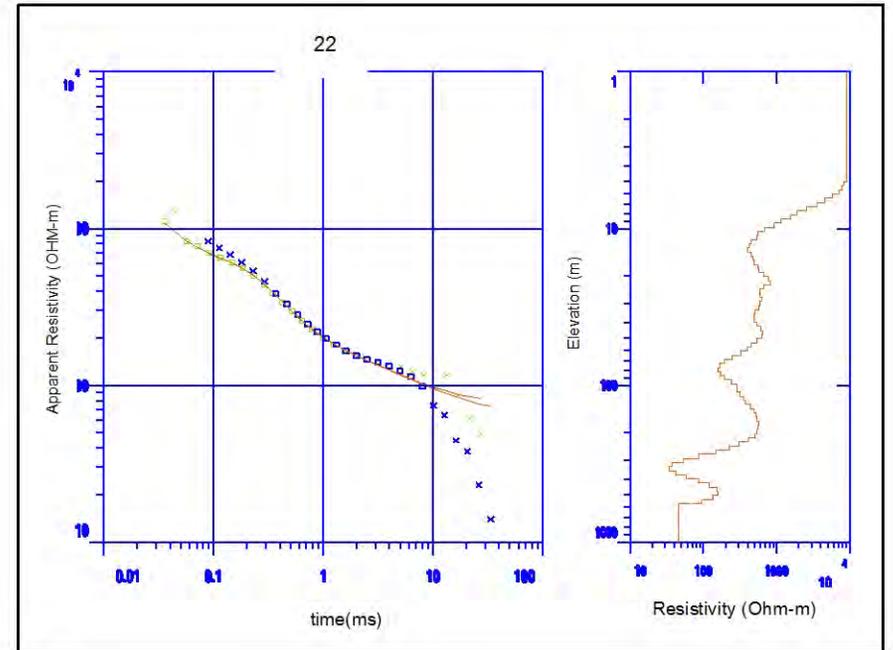
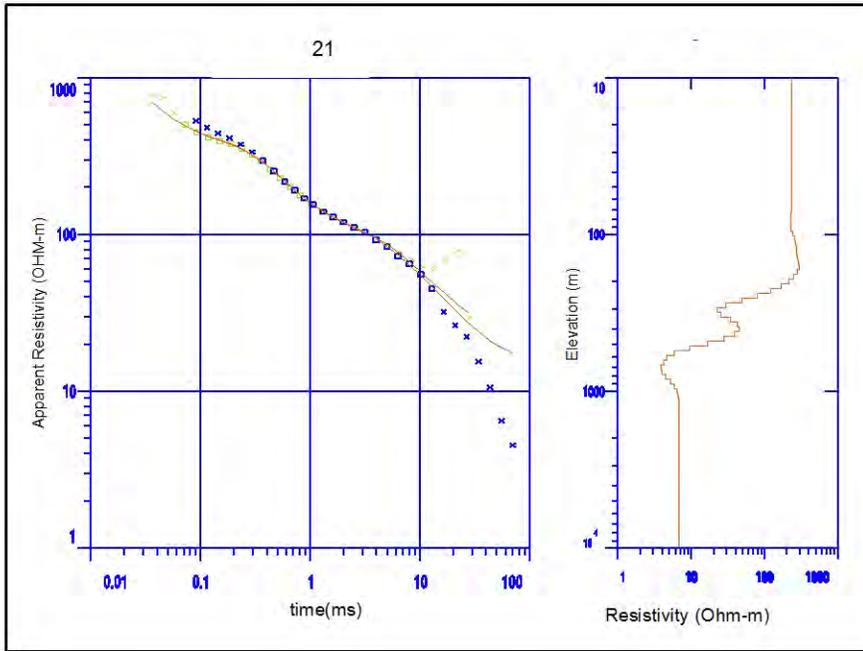
Perfiles TEM 4



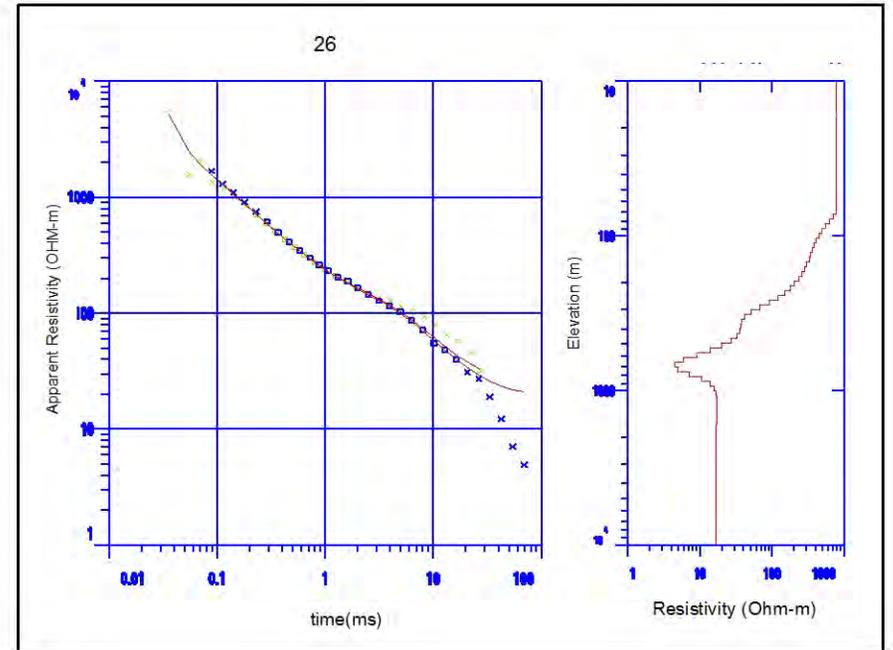
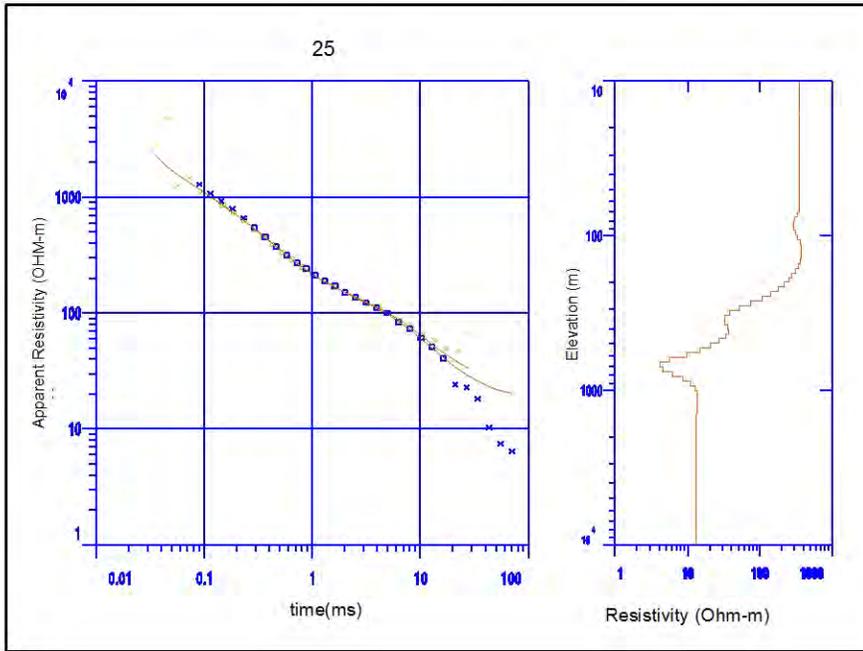
Perfiles TEM 4



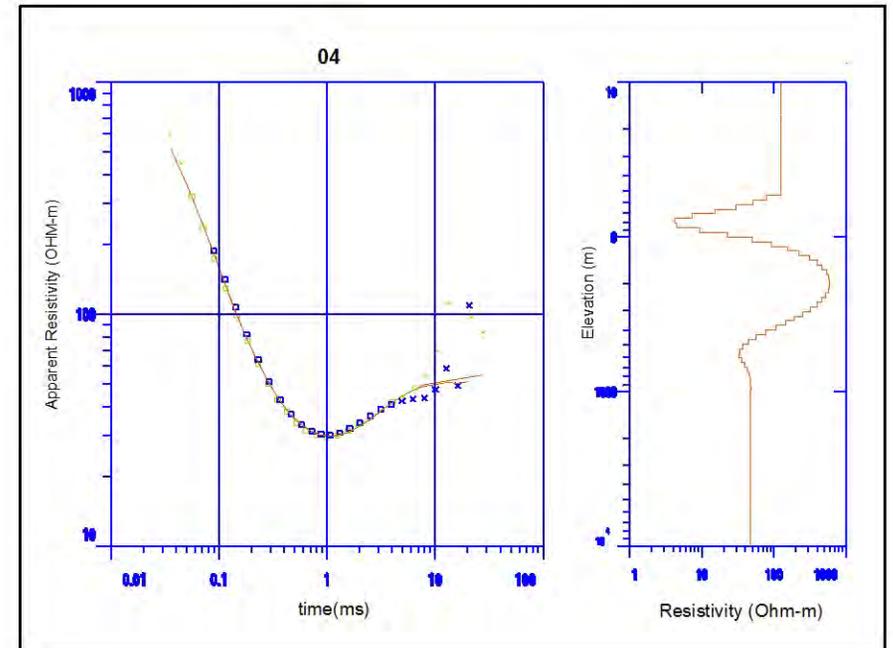
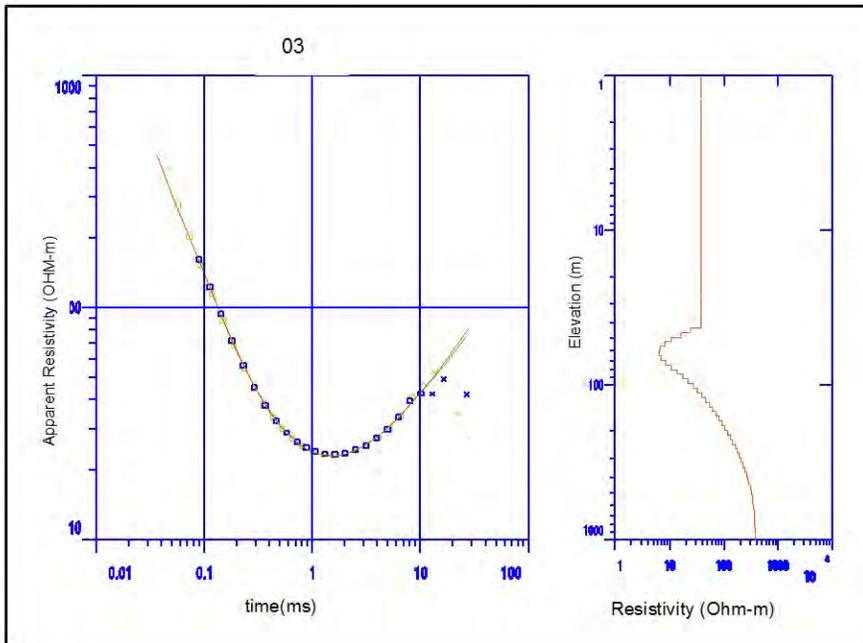
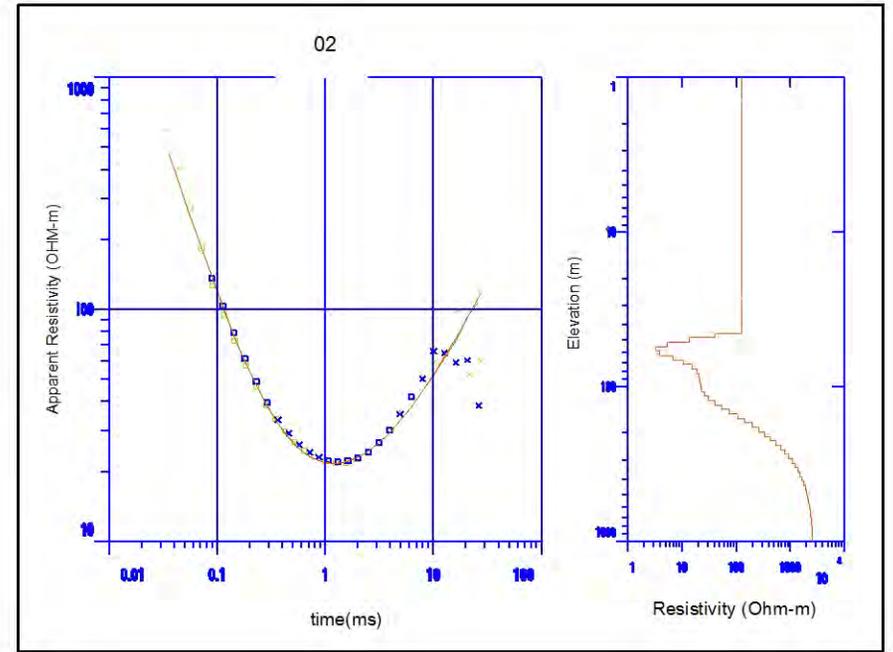
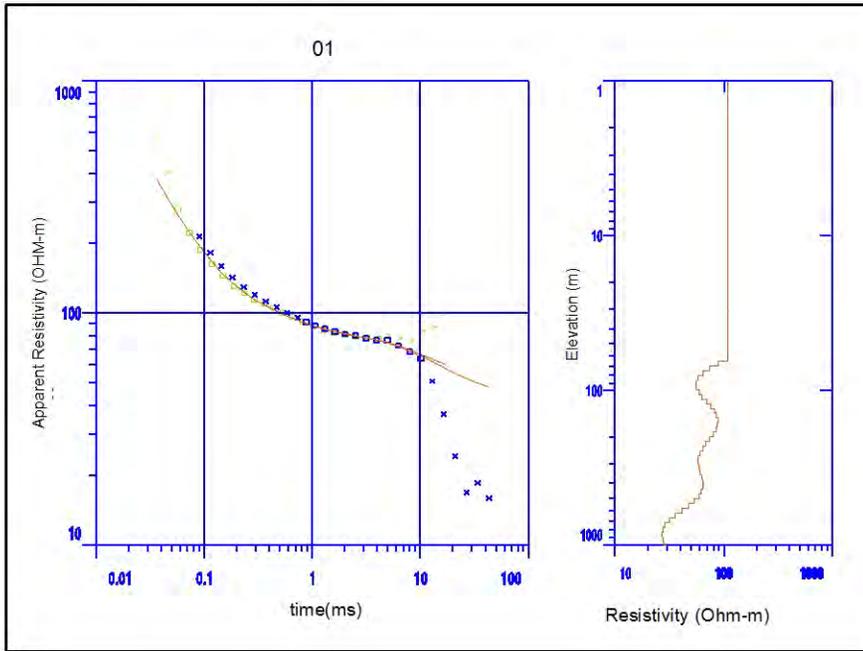
Perfiles TEM 4



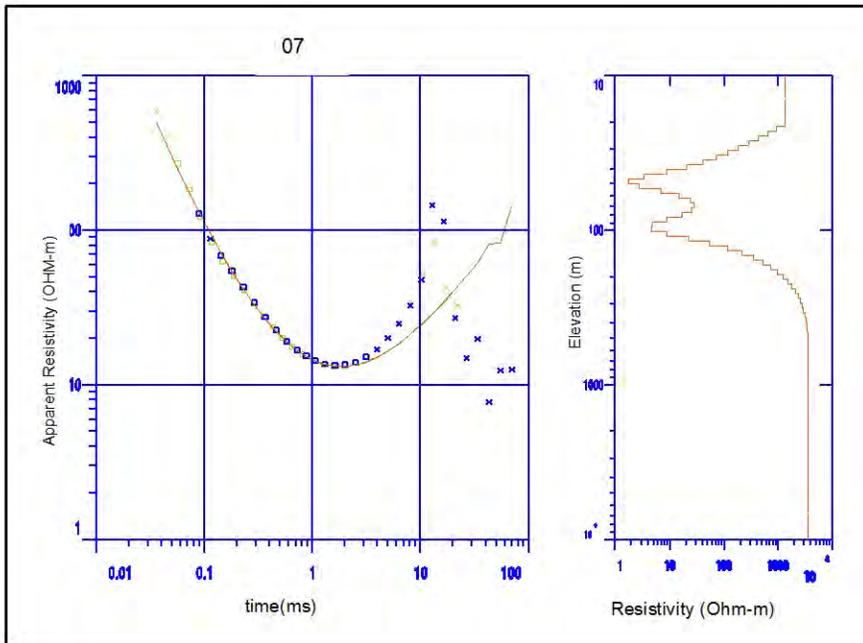
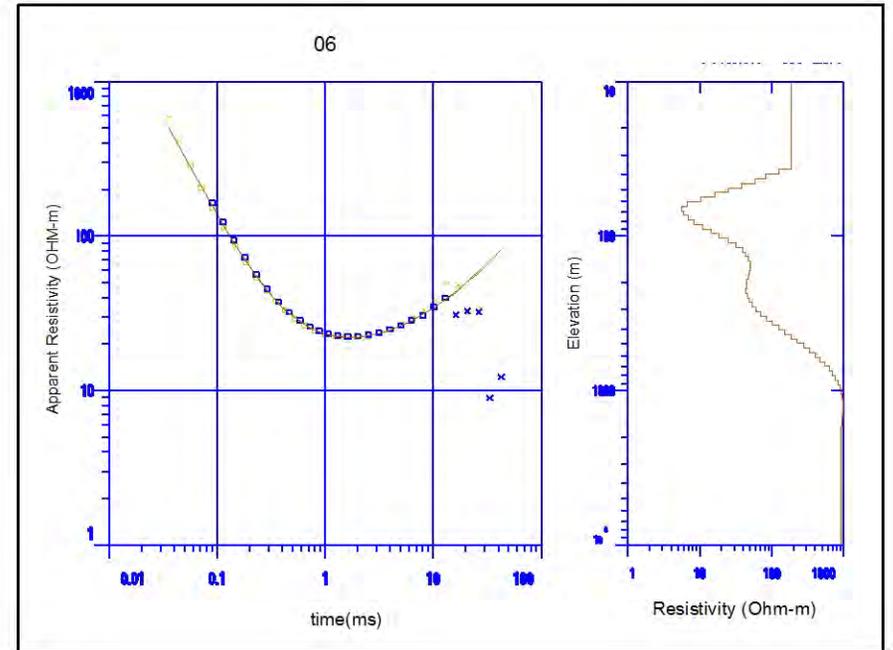
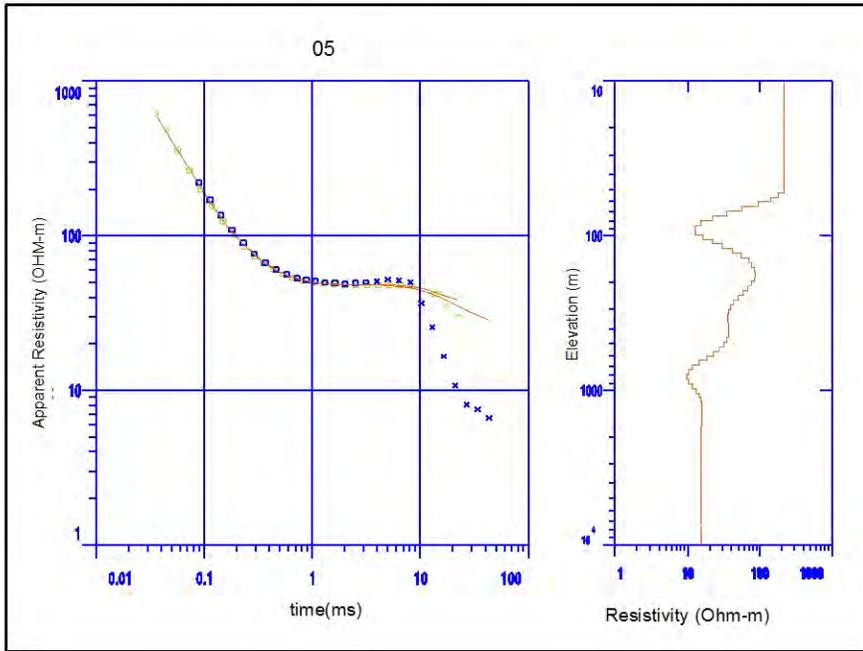
Perfiles TEM 4



Perfiles TEM 5



Perfiles TEM 5



ANEXO B
DATOS MEDICIONES GRAVIMÉTRICAS

PERFIL	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM (Datum WGS84)		ELEVACION (m.s.n.m.)	CORRECCIONES			ANOMALIAS			
		Norte	Este		Topográfica	Aire Libre	Bouguer	Bouguer Simple	Bouguer Total	Teórica	Residual
				(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)
1	11	7.640.443	532.897	3.725	0,391	1.149,58	-417,03	-325,975	-325,584	978.716,664	0,85
	12	7.640.469	533.393	3.725	0,387	1.149,48	-416,99	-327,734	-327,347	978.716,649	-0,105
	13	7.640.511	533.894	3.725	0,417	1.149,60	-417,04	-329,229	-328,812	978.716,625	-0,906
	14	7.640.503	534.394	3.725	0,444	1.149,64	-417,05	-330,923	-330,479	978.716,629	-1,629
	15	7.640.526	534.892	3.725	0,476	1.149,52	-417,01	-332,002	-331,526	978.716,616	-2,385
	16	7.640.547	535.398	3.722	0,509	1.148,64	-416,69	-334,48	-333,971	978.716,603	-3,219
	17	7.640.552	535.877	3.726	0,539	1.149,71	-417,08	-336,861	-336,322	978.716,600	-4,155
	18	7.640.565	536.411	3.742	0,577	1.154,65	-418,87	-338,536	-337,959	978.716,592	-4,578
	19	7.640.602	536.899	3.748	0,616	1.156,73	-419,62	-339,116	-338,5	978.716,571	-4,598
	20	7.640.627	537.402	3.727	0,699	1.149,97	-417,17	-339,524	-338,825	978.716,557	-4,224
	21	7.640.643	537.901	3.730	0,791	1.150,97	-417,53	-340,65	-339,859	978.716,547	-3,931
2	1	7.628.602	527.321	3.826	2,612	1.180,52	-428,26	-305,94	-303,328	978.723,225	5,452
	2	7.628.633	527.831	3.802	2,288	1.173,29	-425,63	-305,283	-302,995	978.723,208	5,994
	3	7.628.679	528.322	3.761	1,961	1.160,48	-420,98	-306,868	-304,907	978.723,182	5,256
	4	7.628.700	528.832	3.748	1,688	1.156,67	-419,6	-309,693	-308,005	978.723,170	4,319
	5	7.628.738	529.330	3.723	1,428	1.148,90	-416,78	-310,917	-309,489	978.723,148	3,389
	6	7.628.778	529.836	3.695	1,184	1.140,40	-413,7	-312,436	-311,252	978.723,125	2,732
	7	7.628.807	530.325	3.668	0,995	1.131,87	-410,6	-313,616	-312,621	978.723,109	2,208
	8	7.628.852	530.789	3.640	0,819	1.123,39	-407,53	-314,605	-313,786	978.723,083	1,82
	13	7.629.112	533.807	3.568	0,272	1.101,12	-399,45	-321,586	-321,314	978.722,936	0,153
	14	7.629.090	534.302	3.602	0,22	1.111,44	-403,19	-324,82	-324,6	978.722,948	-1,574
	15	7.629.117	534.801	3.602	0,192	1.111,51	-403,22	-326,381	-326,189	978.722,931	-2,763
	16	7.629.155	535.301	3.602	0,182	1.111,40	-403,18	-328,137	-327,955	978.722,910	-3,536
	17	7.629.194	535.807	3.602	0,176	1.111,53	-403,23	-329,886	-329,71	978.722,888	-4,266
	18	7.629.234	536.305	3.603	0,2	1.111,98	-403,39	-331,638	-331,438	978.722,865	-4,78
	19	7.629.255	536.785	3.592	0,23	1.108,46	-402,11	-332,655	-332,425	978.722,853	-5,201
	20	7.629.242	537.311	3.593	0,272	1.108,78	-402,23	-334,284	-334,012	978.722,860	-5,914
	21	7.629.345	537.813	3.609	0,314	1.113,56	-403,96	-336,49	-336,176	978.722,802	-6,416
	22	7.629.392	538.305	3.612	0,372	1.114,62	-404,35	-337,843	-337,471	978.722,775	-6,757
	23	7.629.434	538.807	3.617	0,468	1.116,32	-404,96	-338,045	-337,577	978.722,751	-6,664
	24	7.629.472	539.310	3.629	0,567	1.119,90	-406,26	-340,182	-339,615	978.722,729	-6,867
	25	7.629.506	539.811	3.638	0,705	1.122,76	-407,3	-341,777	-341,072	978.722,710	-7,038
	26	7.629.539	540.312	3.649	0,851	1.126,07	-408,5	-341,997	-341,146	978.722,691	-6,835
	27	7.629.574	540.806	3.663	0,998	1.130,44	-410,09	-343,47	-342,472	978.722,670	-6,487
	28	7.629.603	541.289	3.687	1,151	1.137,84	-412,77	-343,412	-342,261	978.722,654	-5,957
	29	7.629.645	541.792	3.725	1,317	1.149,61	-417,04	-343,362	-342,045	978.722,629	-4,988
	30	7.629.656	542.293	3.790	1,541	1.169,67	-424,32	-344,296	-342,755	978.722,623	-4,241
	31	7.629.721	542.804	3.769	1,791	1.163,04	-421,91	-343,949	-342,158	978.722,586	-3,571
	32	7.629.787	543.312	3.778	2,059	1.165,93	-422,96	-345,165	-343,106	978.722,549	-3,061
	33	7.629.796	543.812	3.821	2,321	1.179,05	-427,72	-347,027	-344,706	978.722,543	-3,376
	34	7.629.832	544.311	3.862	2,609	1.191,77	-432,33	-348,353	-345,744	978.722,523	-3,577
	35	7.629.880	544.816	3.907	2,905	1.205,58	-437,35	-349,534	-346,629	978.722,495	-3,536
	36	7.629.909	545.305	3.952	3,192	1.219,61	-442,44	-350,486	-347,294	978.722,478	-3,638
	37	7.629.939	545.804	4.028	3,5	1.242,99	-450,92	-352,628	-349,128	978.722,461	-3,851
38	7.629.976	546.306	4.078	3,818	1.258,41	-456,51	-354,004	-350,186	978.722,440	-4,176	
39	7.630.011	546.804	4.135	4,133	1.276,02	-462,9	-355,551	-351,418	978.722,419	-4,65	
40	7.630.050	547.304	4.205	4,434	1.297,52	-470,7	-357,753	-353,319	978.722,397	-5,226	
41	7.630.087	547.798	4.233	4,679	1.306,28	-473,87	-359,504	-354,825	978.722,376	-5,884	
42	7.630.122	548.301	4.339	4,948	1.339,06	-485,76	-362,588	-357,64	978.722,356	-6,705	
43	7.630.153	548.808	4.400	5,169	1.357,96	-492,62	-363,622	-358,453	978.722,338	-6,907	
3	1	7.614.042	526.022	3.751	1,068	1.157,58	-419,93	-298,615	-297,547	978.731,324	1,138
	2	7.614.085	526.455	3.705	1,002	1.143,34	-414,77	-298,961	-297,959	978.731,299	1,296
	3	7.614.179	526.958	3.655	0,969	1.127,83	-409,14	-299,549	-298,58	978.731,247	1,367
	4	7.614.235	527.456	3.634	0,953	1.121,39	-406,8	-301,087	-300,134	978.731,215	1,151
	5	7.614.288	527.947	3.611	0,906	1.114,17	-404,19	-302,504	-301,598	978.731,185	0,739
	6	7.614.392	528.440	3.585	0,848	1.106,28	-401,32	-303,813	-302,965	978.731,127	0,384
	7	7.614.409	528.939	3.567	0,776	1.100,63	-399,27	-305,032	-304,256	978.731,116	0,158
	8	7.614.468	529.438	3.556	0,713	1.097,37	-398,09	-305,943	-305,23	978.731,083	0,011
	9	7.614.534	529.934	3.533	0,662	1.090,33	-395,54	-306,974	-306,312	978.731,046	-0,223
	10	7.614.591	530.428	3.516	0,62	1.084,95	-393,58	-308,355	-307,735	978.731,014	-0,586
	11	7.614.644	530.921	3.494	0,58	1.078,27	-391,16	-309,788	-309,208	978.730,984	-1,04
	12	7.614.708	531.417	3.477	0,551	1.073,11	-389,29	-311,348	-310,797	978.730,947	-1,661
	13	7.614.763	531.913	3.457	0,513	1.066,95	-387,05	-312,997	-312,484	978.730,916	-2,425
	14	7.614.825	532.406	3.435	0,49	1.060,04	-384,55	-314,662	-314,172	978.730,881	-3,33
	15	7.614.884	532.905	3.421	0,485	1.055,59	-382,93	-317,388	-316,903	978.730,847	-4,634
	16	7.614.946	533.395	3.406	0,488	1.051,13	-381,31	-319,76	-319,272	978.730,813	-5,711
	17	7.615.061	534.398	3.407	0,472	1.051,43	-381,43	-323,792	-323,32	978.730,747	-8,029
	18	7.615.113	534.904	3.417	0,513	1.054,36	-382,49	-325,717	-325,204	978.730,718	-9,005
	19	7.615.210	535.378	3.418	0,572	1.054,90	-382,68	-327,352	-326,78	978.730,663	-9,802
	20	7.615.224	535.899	3.434	0,652	1.059,60	-384,39	-329,534	-328,882	978.730,655	-10,719
	21	7.615.280	536.390	3.455	0,761	1.066,17	-386,77	-331,583	-330,822	978.730,623	-11,485
	22	7.615.338	536.891	3.473	0,877	1.071,89	-388,85	-333,422	-332,545	978.730,589	-12,147
	23	7.615.388	537.392	3.494	1,069	1.078,08	-391,09	-334,374	-333,305	978.730,561	-12,628
	24	7.615.444	537.890	3.516	1,274	1.085,11	-393,64	-337,363	-336,089	978.730,530	-13,664
	25	7.615.502	538.387	3.543	1,516	1.093,32	-396,62	-339,325	-337,809	978.730,497	-14,686
	26	7.615.550	538.892	3.571	1,809	1.102,01	-399,77	-341,548	-339,739	978.730,469	-15,566
	27	7.615.612	539.382	3.600	2,095	1.110,99	-403,03	-343,463	-341,368	978.730,434	-16,095
	28	7.615.675	539.885	3.633	2,46	1.121,01	-406,67	-345,04	-342,58	978.730,398	-16,422
	29	7.615.731	540.368	3.666	2,796	1.131,37	-410,42	-346,369	-343,573	978.730,366	-16,486
	30	7.615.775	540.884	3.703	3,187	1.142,75	-414,55	-347,386	-344,199	978.730,341	-16,082
	31	7.615.818	541.282	3.726	3,519	1.149,72	-417,08	-347,555	-344,036	978.730,317	-15,906
	32	7.615.867	541.684	3.760	3,87	1.160,22	-420,89	-348,905	-345,035	978.730,288	-16,12
	33	7.615.901	542.068	3.820	4,385	1.178,76	-427,61	-351,702	-347,317	978.730,269	-16,129

PERFIL	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM (Datum WGS84)		ELEVACION (m.s.n.m.)	CORRECCIONES			ANOMALIAS			
		Norte	Este		Topográfica (miligales)	Aire Libre (miligales)	Bouguer (miligales)	Bouguer Simple	Bouguer Total	Teórica	Residual
								(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)
4	1	7.599.720	520.520	3.740	0,059	1.154,01	-418,64	-291,695	-291,636	978.739,332	-11,403
	2	7.599.741	521.026	3.737	0,055	1.153,18	-418,34	-290,612	-290,557	978.739,320	-9,581
	3	7.599.786	521.516	3.702	0,435	1.142,53	-414,47	-290,461	-290,026	978.739,295	-8,066
	4	7.599.824	522.011	3.667	0,415	1.131,76	-410,56	-290,309	-289,894	978.739,273	-6,811
	5	7.599.718	522.523	3.644	0,389	1.124,50	-407,93	-290,064	-289,675	978.739,332	-5,905
	6	7.599.832	523.009	3.628	0,356	1.119,47	-406,11	-290,67	-290,314	978.739,267	-5,016
	7	7.599.823	523.573	3.602	0,311	1.111,64	-403,27	-290,482	-290,171	978.739,272	-4,132
	8	7.599.879	524.012	3.594	0,299	1.108,97	-402,3	-290,708	-290,409	978.739,241	-3,569
	9	7.599.900	524.504	3.600	0,289	1.111,07	-403,06	-291,646	-291,357	978.739,228	-2,722
	10	7.599.919	525.008	3.585	0,282	1.106,34	-401,34	-291,039	-290,757	978.739,218	-1,645
	11	7.599.945	525.518	3.573	0,288	1.102,53	-399,96	-290,48	-290,192	978.739,202	-0,153
	12	7.599.962	525.999	3.560	0,3	1.098,52	-398,51	-289,769	-289,469	978.739,192	1,296
	13	7.599.988	526.511	3.535	0,343	1.090,73	-395,68	-289,209	-288,866	978.739,177	2,83
	14	7.599.988	527.029	3.544	0,391	1.093,70	-396,76	-289,032	-288,641	978.739,177	4,183
	15	7.600.031	527.505	3.571	0,478	1.101,99	-399,77	-288,573	-288,095	978.739,152	5,246
	16	7.600.051	528.007	3.627	0,613	1.119,18	-406	-289,146	-288,533	978.739,141	6,293
	17	7.600.079	528.484	3.639	0,808	1.122,82	-407,32	-289,116	-288,308	978.739,124	7,368
	18	7.600.100	528.976	3.636	1,523	1.122,14	-407,07	-289,819	-288,296	978.739,112	8,588
	19	7.600.032	529.583	3.715	2,976	1.146,43	-415,89	-290,187	-287,211	978.739,150	9,816
	20	7.600.032	530.059	3.744	2,456	1.155,41	-419,14	-290,641	-288,185	978.739,150	10,357
	21	7.600.143	530.494	3.550	1,4	1.095,61	-397,45	-290,346	-288,946	978.739,086	10,523
	22	7.600.214	530.961	3.449	1,014	1.064,27	-386,08	-290,454	-289,44	978.739,046	10,502
	23	7.600.209	531.494	3.383	1,03	1.043,95	-378,71	-292,501	-291,471	978.739,048	9,983
	24	7.600.229	531.991	3.363	0,895	1.037,70	-376,44	-294,378	-293,483	978.739,037	9,271
	25	7.600.253	532.487	3.367	0,653	1.038,98	-376,91	-295,311	-294,658	978.739,023	8,427
	26	7.600.304	532.976	3.346	0,495	1.032,51	-374,56	-297,377	-296,882	978.738,994	7,447
	27	7.600.294	533.481	3.315	0,388	1.023,07	-371,14	-299,841	-299,453	978.738,999	5,936
	28	7.600.319	533.995	3.312	0,325	1.022,14	-370,8	-302,72	-302,395	978.738,984	4,577
	29	7.600.333	534.481	3.303	0,283	1.019,40	-369,8	-304,087	-303,804	978.738,976	3,677
	30	7.600.350	534.982	3.292	0,264	1.015,78	-368,49	-305,318	-305,054	978.738,965	3,474
	31	7.600.395	535.979	3.290	0,246	1.015,38	-368,35	-307,577	-307,331	978.738,939	2,928
	32	7.600.410	536.483	3.301	0,239	1.018,57	-369,5	-309,228	-308,989	978.738,930	2,212
	33	7.600.440	536.983	3.307	0,241	1.020,56	-370,22	-310,995	-310,754	978.738,913	1,229
	34	7.600.443	537.482	3.315	0,274	1.023,02	-371,12	-313,435	-313,161	978.738,910	0,006
	35	7.600.457	537.985	3.324	0,306	1.025,64	-372,07	-316,104	-315,798	978.738,902	-1,568
	36	7.600.470	538.489	3.329	0,354	1.027,21	-372,64	-318,615	-318,261	978.738,893	-3,132
	37	7.600.487	538.993	3.337	0,414	1.029,85	-373,6	-321,265	-320,851	978.738,884	-4,664
	38	7.600.506	539.469	3.333	0,477	1.028,60	-373,14	-323,679	-323,202	978.738,872	-5,934
	39	7.600.518	540.002	3.362	0,571	1.037,46	-376,36	-325,835	-325,264	978.738,865	-7,298
	40	7.600.504	540.536	3.340	0,661	1.030,66	-373,89	-328,383	-327,722	978.738,872	-8,564
	41	7.600.550	541.010	3.340	0,719	1.030,79	-373,94	-329,968	-329,249	978.738,845	-9,523
	42	7.600.577	541.509	3.403	0,78	1.050,15	-380,96	-332,921	-332,141	978.738,830	-10,021
5	1	7.581.369	529.259	3.552	0,909	1.096,02	-397,6	-292,264	-291,355	978.749,636	-4,045
	2	7.581.491	529.757	3.516	1,014	1.084,94	-393,58	-291,736	-290,722	978.749,567	-2,633
	3	7.581.810	530.225	3.571	1,132	1.101,87	-399,72	-291,339	-290,207	978.749,386	-1,115
	4	7.582.017	530.671	3.606	1,276	1.112,92	-403,73	-291,302	-290,026	978.749,269	0,058
	5	7.582.245	531.111	3.644	1,488	1.124,42	-407,9	-291,361	-289,873	978.749,141	0,51
	6	7.582.489	531.561	3.758	2,021	1.159,63	-420,67	-293,813	-291,792	978.749,002	0,707
	7	7.582.637	532.019	3.759	2,6	1.159,94	-420,79	-294,131	-291,531	978.748,919	1,664
	8	7.582.813	532.561	3.828	2,774	1.181,27	-428,53	-293,926	-291,152	978.748,819	2,882
	20	7.585.851	538.241	3.454	1,959	1.065,96	-386,7	-297,102	-295,143	978.747,101	11,846
	21	7.585.978	538.747	3.325	1,676	1.026,21	-372,28	-296,186	-294,51	978.747,028	12,685
	22	7.586.199	539.192	3.275	1,499	1.010,75	-366,67	-297,159	-295,66	978.746,904	12,857
	23	7.586.418	539.639	3.247	1,304	1.001,88	-363,45	-298,2	-296,896	978.746,780	12,742
	24	7.586.634	540.087	3.243	1,053	1.000,62	-362,99	-300,471	-299,418	978.746,658	10,875
	25	7.586.848	540.540	3.241	0,806	1.000,27	-362,86	-303,33	-302,524	978.746,537	8,842
	26	7.587.590	541.841	3.248	0,441	1.002,37	-363,63	-312,943	-312,502	978.746,117	2,289
	27	7.587.818	542.317	3.265	0,381	1.007,66	-365,55	-315,515	-315,134	978.745,989	0,562
	28	7.588.005	542.763	3.285	0,338	1.013,84	-367,79	-317,974	-317,636	978.745,883	-0,85
	29	7.588.219	543.219	3.301	0,303	1.018,78	-369,58	-320,205	-319,902	978.745,762	-2,236
	30	7.588.446	543.677	3.316	0,276	1.023,36	-371,24	-322,717	-322,441	978.745,634	-3,868
	31	7.588.682	544.130	3.331	0,248	1.027,79	-372,85	-325,513	-325,265	978.745,500	-5,565
	32	7.588.914	544.578	3.343	0,233	1.031,67	-374,25	-328,384	-328,151	978.745,369	-6,934
	33	7.589.143	545.019	3.363	0,228	1.037,89	-376,51	-329,737	-329,509	978.745,240	-8,226
	34	7.589.369	545.467	3.367	0,223	1.039,12	-376,96	-332,999	-332,776	978.745,112	-9,698
	35	7.589.596	545.914	3.383	0,234	1.044,00	-378,73	-334,553	-334,319	978.744,983	-10,285
	36	7.589.829	546.366	3.387	0,25	1.045,21	-379,17	-335,73	-335,48	978.744,852	-10,725
	37	7.590.055	546.807	3.387	0,276	1.045,27	-379,19	-336,831	-336,555	978.744,724	-10,779
	38	7.590.286	547.245	3.381	0,314	1.043,45	-378,53	-337,26	-336,946	978.744,594	-10,77
	39	7.590.508	547.689	3.391	0,349	1.046,31	-379,57	-338,151	-337,802	978.744,468	-10,811
	40	7.590.736	548.142	3.442	0,384	1.062,32	-385,37	-340,063	-339,679	978.744,339	-10,917
	41	7.590.964	548.600	3.455	0,425	1.066,06	-386,73	-340,936	-340,511	978.744,210	-10,892
	42	7.591.195	549.044	3.463	0,466	1.068,64	-387,67	-341,766	-341,3	978.744,080	-10,449
	43	7.591.426	549.485	3.484	0,507	1.075,06	-390	-341,859	-341,352	978.743,949	-9,815
	44	7.591.658	549.936	3.497	0,546	1.079,15	-391,48	-341,769	-341,223	978.743,818	-8,853
	45	7.591.885	550.387	3.515	0,576	1.084,56	-393,44	-341,907	-341,331	978.743,690	-7,899
	46	7.592.111	550.826	3.533	0,601	1.090,35	-395,54	-341,784	-341,183	978.743,562	-7,039
	47	7.592.344	551.278	3.562	0,64	1.099,31	-398,79	-342,327	-341,687	978.743,431	-6,476
	48	7.592.561	551.726	3.607	0,678	1.113,12	-403,8	-343,182	-342,504	978.743,308	-5,868
	49	7.592.806	552.163	3.591	0,688	1.108,05	-401,96	-343,008	-342,32	978.743,170	-5,234
	50	7.593.036	552.613	3.592	0,724	1.108,47	-402,12	-344,226	-343,502	978.743,039	-4,872
	51	7.593.255	553.062	3.606	0,781	1.112,68	-403,64	-344,532	-343,751	978.742,916	-4,31
	52	7.593.488	553.510	3.611	0,851	1.114,47	-404,3	-344,581	-343,73	978.742,784	-3,33
	53	7.593.720	553.956	3.628	0,928	1.119,71	-406,19	-344,469	-343,541	978.742,653	-2,048
	54	7.593.942	554.403	3.649	0,997	1.125,91	-408,44	-343,571	-342,574	978.742,528	-0,639
	55	7.594.161	554.860	3.678	1,093	1.134,96	-411,73	-344,283	-343,19	978.742,404	-0,019
	56	7.594.405	555.305	3.678	1,193	1.134,93	-411,71	-344,819	-343,626	978.742,266	0,585
	57	7.594.633	555.751	3.690	1,243	1.138,70	-413,08	-345,098	-343,855	978.742,137	1,077
	58	7.594.924	556.193	3.729	1,298	1.150,72	-417,44	-346,382	-345,084	978.741,973	1,206
	59	7.595.083	556.649	3.814	1,333	1.177,00	-426,98	-347,016	-345,683	978.741,883	1,391
	60	7.595.328	557.088	3.819	1,399	1.178,59	-427,55	-348,109	-346,71	978.741,745	1,434
	61	7.595.561	557.522	3.827	1,457	1.180,88	-428,38	-34			

PERFIL	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM (Datum WGS84)		ELEVACION (m.s.n.m.)	CORRECCIONES			ANOMALIAS			
		Norte	Este		Topográfica	Aire Libre	Bouguer	Bouguer Simple	Bouguer Total	Teórica	Residual
					(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)
	1	7.591.689	539.113	3.247	0,377	1.002,09	-363,53	-308,148	-307,771	978.743,818	3,33
	2	7.591.487	538.682	3.249	0,42	1.002,73	-363,76	-307,103	-306,683	978.743,932	3,999
	3	7.591.287	538.230	3.257	0,491	1.005,07	-364,61	-305,689	-305,198	978.744,044	4,632
	4	7.591.058	537.805	3.263	0,6	1.006,91	-365,27	-303,26	-302,66	978.744,174	5,546
	5	7.590.873	537.340	3.270	0,73	1.009,00	-366,03	-302,494	-301,764	978.744,278	6,407
	6	7.590.693	536.912	3.276	0,856	1.011,05	-366,77	-300,602	-299,746	978.744,380	7,075
	7	7.590.437	536.471	3.297	0,913	1.017,31	-369,05	-299,104	-298,191	978.744,525	7,719
	8	7.590.198	536.025	3.335	0,959	1.029,21	-373,36	-297,561	-296,602	978.744,659	8,286
	9	7.589.989	535.557	3.419	1,008	1.054,99	-382,71	-295,921	-294,913	978.744,777	8,759
	10	7.589.824	535.199	3.445	1,038	1.062,98	-385,61	-294,797	-293,759	978.744,870	8,933
	11	7.589.576	534.767	3.463	1,081	1.068,65	-387,67	-294,999	-293,918	978.745,011	8,745
	12	7.589.355	534.318	3.466	1,083	1.069,48	-387,97	-293,275	-292,192	978.745,135	8,553
	13	7.589.155	533.898	3.468	1,073	1.070,15	-388,22	-292,952	-291,879	978.745,248	8,327
	14	7.588.989	533.475	3.462	1,086	1.068,34	-387,56	-292,052	-290,966	978.745,343	7,693
	15	7.588.781	533.041	3.461	1,146	1.067,92	-387,41	-292,53	-291,384	978.745,460	6,884
	16	7.588.551	532.601	3.462	1,182	1.068,32	-387,55	-293,422	-292,24	978.745,590	5,45
	17	7.588.351	532.163	3.466	1,178	1.069,45	-387,96	-293,65	-292,472	978.745,702	4,21
	18	7.588.150	531.730	3.468	1,124	1.070,24	-388,25	-293,249	-292,125	978.745,816	3,246
	19	7.587.932	531.292	3.474	1,044	1.072,16	-388,94	-293,428	-292,384	978.745,939	2,21
6	20	7.587.706	530.838	3.477	0,951	1.072,98	-389,24	-293,453	-292,502	978.746,067	1,134
	21	7.587.507	530.392	3.478	0,906	1.073,24	-389,33	-293,476	-292,57	978.746,179	0,337
	22	7.587.314	529.953	3.474	0,846	1.072,07	-388,91	-292,978	-292,132	978.746,288	-0,306
	23	7.587.053	529.519	3.456	0,81	1.066,65	-386,94	-291,477	-290,667	978.746,435	-0,698
	24	7.586.878	529.051	3.483	0,72	1.074,88	-389,93	-291,994	-291,274	978.746,534	-1,511
	25	7.586.622	528.612	3.498	0,641	1.079,38	-391,56	-291,834	-291,193	978.746,678	-2,48
	26	7.586.437	528.191	3.509	0,58	1.082,96	-392,86	-291,733	-291,153	978.746,783	-3,421
	27	7.586.202	527.796	3.523	0,546	1.087,27	-394,42	-291,824	-291,278	978.746,916	-4,377
	28	7.585.932	527.266	3.543	0,502	1.093,35	-396,63	-292,068	-291,566	978.747,068	-5,7
	29	7.591.912	539.562	3.263	0,337	1.007,05	-365,32	-310,522	-310,185	978.743,692	2,49
	30	7.592.128	540.023	3.268	0,301	1.008,62	-365,89	-312,162	-311,861	978.743,569	1,782
	31	7.592.361	540.472	3.273	0,27	1.010,08	-366,42	-313,675	-313,405	978.743,439	1,08
	32	7.592.576	540.921	3.288	0,253	1.014,76	-368,12	-315,622	-315,369	978.743,317	0,006
	33	7.592.799	541.366	3.300	0,247	1.018,21	-369,37	-317,779	-317,532	978.743,191	-1,166
	34	7.593.017	541.812	3.311	0,246	1.021,63	-370,62	-320,198	-319,952	978.743,068	-2,455
	35	7.593.236	542.265	3.320	0,253	1.024,58	-371,68	-322,646	-322,393	978.742,945	-3,881
	36	7.593.460	542.712	3.324	0,265	1.025,89	-372,16	-324,919	-324,654	978.742,818	-5,243
	37	7.593.681	543.160	3.333	0,28	1.028,45	-373,09	-327,17	-326,89	978.742,694	-6,603
	38	7.593.901	543.608	3.341	0,3	1.031,01	-374,02	-329,802	-329,502	978.742,569	-7,876
	39	7.594.122	544.057	3.349	0,33	1.033,57	-374,95	-332,062	-331,732	978.742,445	-8,991

PERFIL	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM (Datum WGS84)		ELEVACION (m.s.n.m.)	CORRECCIONES			ANOMALIAS			
		Norte	Este		Topográfica	Aire Libre	Bouguer	Bouguer Simple	Bouguer Total	Teórica	Residual
				(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)
	1	7.568.863	540.433	3.001	0,014	926,01	-335,93	-290,07	-290,056	978.756,685	11,808
	2	7.569.314	540.258	2.999	0,013	925,54	-335,76	-289,969	-289,956	978.756,430	11,715
	3	7.569.810	540.216	2.999	0,012	925,43	-335,71	-290,169	-290,157	978.756,150	11,807
	4	7.570.339	540.153	3.002	0,007	926,50	-336,11	-290,182	-290,175	978.755,850	11,739
	5	7.570.777	540.175	3.056	0,006	943,17	-342,15	-290,845	-290,839	978.755,603	11,608
	6	7.571.263	540.365	3.018	0,005	931,23	-337,82	-291,406	-291,401	978.755,327	11,854
	7	7.571.756	540.262	3.018	0,007	931,26	-337,83	-291,366	-291,359	978.755,049	11,644
	8	7.572.252	540.287	3.021	0,007	932,31	-338,21	-291,998	-291,991	978.754,768	11,463
	9	7.572.761	540.109	3.025	0,008	933,40	-338,61	-292,41	-292,402	978.754,481	11,122
	10	7.573.225	540.202	3.029	0,009	934,68	-339,07	-292,661	-292,652	978.754,219	11,22
	11	7.573.734	540.258	3.035	0,01	936,68	-339,8	-292,732	-292,722	978.753,931	11,454
	12	7.574.123	539.948	3.037	0,015	937,04	-339,93	-292,299	-292,284	978.753,712	11,283
	13	7.574.599	540.115	3.039	0,016	937,86	-340,23	-292,773	-292,757	978.753,442	11,553
	14	7.575.059	540.339	3.041	0,016	938,55	-340,48	-293,425	-293,409	978.753,182	11,717
	15	7.575.391	540.649	3.048	0,014	940,48	-341,18	-293,578	-293,564	978.752,994	11,699
	16	7.575.768	540.966	3.048	0,015	940,47	-341,17	-296,167	-296,152	978.752,781	11,304
	17	7.576.012	541.477	3.051	0,016	941,63	-341,59	-296,51	-296,494	978.752,643	11,367
	18	7.576.559	541.534	3.060	0,025	944,34	-342,58	-296,637	-296,612	978.752,334	11,596
	19	7.577.053	541.522	3.059	0,046	944,00	-342,45	-296,855	-296,809	978.752,055	12,01
	20	7.577.554	541.492	3.061	0,075	944,65	-342,69	-295,974	-295,899	978.751,772	12,633
	21	7.578.004	541.340	3.062	0,099	944,89	-342,77	-295,38	-295,281	978.751,518	12,928
	22	7.578.504	541.330	3.065	1,552	945,85	-343,12	-296,862	-295,31	978.751,237	12,975
	23	7.578.900	541.250	3.148	1,391	971,59	-352,46	-297,471	-296,08	978.751,013	12,664
	24	7.579.409	541.180	3.159	1,235	974,93	-353,67	-297,382	-296,147	978.750,726	12,094
	25	7.579.909	541.281	3.167	1,133	977,43	-354,58	-299,942	-298,809	978.750,444	11,588
	26	7.580.403	541.578	3.166	0,961	976,96	-354,41	-300,479	-299,518	978.750,165	11,23
	27	7.580.768	541.592	3.176	0,909	980,12	-355,56	-300,348	-299,439	978.749,959	11,247
	28	7.581.299	541.450	3.194	0,895	985,68	-357,57	-299,456	-298,561	978.749,660	11,562
	29	7.581.770	541.650	3.190	0,789	984,31	-357,08	-301,019	-300,23	978.749,395	11,429
	30	7.582.194	541.596	3.201	0,797	987,69	-358,3	-300,383	-299,586	978.749,156	11,768
	31	7.582.763	541.689	3.203	0,761	988,57	-358,62	-299,975	-299,214	978.748,835	12,411
	32	7.583.185	541.720	3.193	0,782	985,31	-357,44	-299,037	-298,255	978.748,597	12,77
	33	7.583.641	541.682	3.159	0,878	974,93	-353,67	-299,949	-299,071	978.748,341	12,527
	34	7.583.728	540.736	3.221	1,083	994,11	-360,63	-299,357	-298,274	978.748,293	11,981
	35	7.584.181	540.502	3.225	1,185	995,12	-361	-300,22	-299,035	978.748,038	11,263
	36	7.584.621	540.249	3.231	1,256	997,12	-361,72	-300,541	-299,285	978.747,791	11,009
	37	7.585.656	541.210	3.220	0,784	993,52	-360,42	-305,815	-305,031	978.747,207	7,463
	38	7.586.079	541.117	3.228	0,749	996,08	-361,35	-305,981	-305,232	978.746,969	7,222
	39	7.586.572	541.034	3.231	0,701	996,93	-361,65	-306,289	-305,588	978.746,692	6,981
	40	7.587.078	540.982	3.230	0,654	996,75	-361,59	-307,367	-306,713	978.746,407	6,352
	41	7.587.557	540.898	3.231	0,618	997,11	-361,72	-307,418	-306,8	978.746,137	5,846
	42	7.587.984	540.625	3.236	0,628	998,68	-362,29	-306,977	-306,349	978.745,898	6,02
	43	7.588.454	540.461	3.237	0,604	998,76	-362,32	-307,931	-307,327	978.745,634	5,334
	44	7.588.863	540.182	3.235	0,594	998,40	-362,19	-307,563	-306,969	978.745,404	5,135
	45	7.589.426	540.173	3.237	0,527	999,00	-362,4	-308,835	-308,308	978.745,088	4,074
Long	46	7.589.831	539.890	3.242	0,512	1.000,60	-362,98	-308,485	-307,973	978.744,860	4,018
	47	7.590.211	539.578	3.246	0,501	1.001,72	-363,39	-308,558	-308,057	978.744,647	4,105
	48	7.590.721	539.579	3.241	0,444	1.000,03	-362,78	-308,48	-308,036	978.744,361	3,839
	49	7.591.210	539.480	3.242	0,399	1.000,56	-362,97	-309,054	-308,655	978.744,086	3,449
	50	7.591.668	539.224	3.245	0,373	1.001,28	-363,23	-309,093	-308,72	978.743,829	3,217
	51	7.592.082	538.991	3.244	0,355	1.001,16	-363,19	-309,072	-308,717	978.743,597	2,914
	52	7.592.498	538.720	3.246	0,335	1.001,59	-363,34	-308,994	-308,659	978.743,364	2,473
	53	7.592.971	538.558	3.250	0,307	1.002,87	-363,81	-309,759	-309,452	978.743,099	1,83
	54	7.593.418	538.326	3.260	0,281	1.006,15	-365	-310,201	-309,92	978.742,848	1,402
	55	7.593.684	537.821	3.258	0,268	1.005,41	-364,73	-308,341	-308,073	978.742,699	1,812
	56	7.594.151	537.599	3.258	0,243	1.005,37	-364,71	-308,562	-308,319	978.742,437	1,646
	57	7.594.642	537.539	3.258	0,222	1.005,40	-364,73	-309,51	-309,288	978.742,162	1,267
	58	7.595.113	537.400	3.264	0,202	1.007,16	-365,36	-309,007	-308,805	978.741,898	1,299
	59	7.595.600	537.224	3.265	0,191	1.007,50	-365,49	-309,467	-309,276	978.741,625	1,333
	60	7.596.036	536.995	3.269	0,179	1.008,86	-365,98	-308,311	-308,132	978.741,380	1,614
	61	7.596.425	536.760	3.274	0,173	1.010,26	-366,49	-307,454	-307,281	978.741,163	2,169
	62	7.596.717	536.334	3.274	0,174	1.010,25	-366,49	-306,728	-306,554	978.741,000	2,698
	63	7.597.022	535.905	3.281	0,177	1.012,55	-367,32	-305,142	-304,965	978.740,829	3,147
	64	7.597.431	535.613	3.284	0,181	1.013,43	-367,64	-304,611	-304,43	978.740,600	3,493
	65	7.597.941	535.668	3.283	0,191	1.013,00	-367,48	-305,14	-304,949	978.740,314	3,301
	66	7.598.427	535.725	3.279	0,204	1.011,79	-367,05	-305,804	-305,6	978.740,042	3,053
	67	7.598.920	535.688	3.284	0,215	1.013,41	-367,63	-306,458	-306,243	978.739,766	2,864
	68	7.599.406	535.680	3.281	0,226	1.012,37	-367,26	-306,072	-305,846	978.739,493	3,056
	69	7.599.890	535.588	3.282	0,237	1.012,86	-367,43	-306,086	-305,849	978.739,223	3,21
	70	7.600.360	535.455	3.281	0,255	1.012,53	-367,31	-305,932	-305,677	978.738,959	3,274
	71	7.600.879	535.317	3.285	0,274	1.013,65	-367,72	-305,892	-305,618	978.738,668	3,503
	72	7.601.333	535.134	3.286	0,294	1.014,19	-367,91	-305,721	-305,427	978.738,414	3,735
	73	7.601.798	534.980	3.282	0,316	1.012,80	-367,41	-305,512	-305,196	978.738,155	3,92
	74	7.602.289	535.023	3.287	0,331	1.014,39	-367,99	-306,497	-306,166	978.737,880	3,614
	75	7.602.799	534.987	3.294	0,338	1.016,57	-368,78	-306,057	-305,719	978.737,595	3,186
	76	7.603.332	534.900	3.298	0,344	1.017,81	-369,23	-307,716	-307,372	978.737,296	2,516
	77	7.603.787	535.144	3.297	0,355	1.017,44	-369,1	-309,396	-309,041	978.737,041	1,498
	78	7.604.259	535.021	3.303	0,361	1.019,24	-369,75	-309,883	-309,522	978.736,777	1,009
	79	7.604.745	534.890	3.310	0,363	1.021,56	-370,59	-310,521	-310,158	978.736,506	0,507
	80	7.605.272	534.941	3.304	0,374	1.019,60	-369,88	-311,206	-310,832	978.736,211	-0,055
	81	7.605.753	534.820	3.314	0,373	1.022,79	-371,03	-311,582	-311,209	978.735,942	-0,459
	82	7.606.257	534.772	3.321	0,381	1.024,89	-371,8	-312,533	-312,152	978.735,661	-1,04
	83	7.606.719	534.612	3.322	0,387	1.025,20	-371,91	-312,847	-312,46	978.735,402	-1,434
	84	7.607.213	534.533	3.322	0,4	1.025,24	-371,92	-313,499	-313,099	978.735,126	-1,94
	85	7.607.693	534.472	3.330	0,421	1.027,47	-372,73	-314,187	-313,766	978.734,859	-2,46
	86	7.608.206	534.590	3.322	0,456	1.025,18	-371,9	-315,708	-315,252	978.734,572	-3,234
	87	7.608.701	534.588	3.326	0,463	1.026,24	-372,29	-316,018	-315,555	978.734,295	-4,123
	88	7.609.172	534.402	3.341	0,445	1.031,07	-374,04	-317,683	-317,238	978.734,033	-5,037
	89	7.609.675	534.444	3.337	0,446	1.029,83	-373,59	-318,035	-317,589	978.733,752	-5,497
	90	7.610.110	534.267	3.351	0,442	1.034,14	-375,1				

PERFIL	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM (Datum WGS84)		ELEVACION (m.s.n.m.)	CORRECCIONES			ANOMALIAS			
		Norte	Este		Topográfica	Aire Libre	Bouguer	Bouguer Simple	Bouguer Total	Teórica	Residual
				(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)	(miligales)
Long	92	7.611.124	534.457	3.354	0,468	1.034,93	-375,44	-319,731	-319,263	978.732,943	-6,224
	93	7.611.620	534.385	3.358	0,477	1.036,35	-375,95	-319,978	-319,501	978.732,666	-6,249
	94	7.612.104	534.243	3.362	0,484	1.037,63	-376,42	-320,014	-319,53	978.732,396	-6,249
	95	7.612.596	534.182	3.371	0,492	1.040,28	-377,38	-320,413	-319,921	978.732,122	-6,3
	96	7.613.095	534.154	3.377	0,502	1.042,13	-378,05	-320,595	-320,093	978.731,844	-6,331
	97	7.613.605	534.163	3.368	0,5	1.039,37	-377,05	-320,446	-319,946	978.731,559	-6,318
	98	7.614.034	533.913	3.381	0,477	1.043,31	-378,48	-320,443	-319,966	978.731,320	-6,264
	99	7.614.510	533.778	3.386	0,469	1.044,88	-379,05	-320,429	-319,96	978.731,055	-6,292
	100	7.615.006	533.889	3.386	0,479	1.044,85	-379,04	-321,108	-320,629	978.730,778	-6,749
	101	7.615.468	533.786	3.399	0,49	1.049,01	-380,55	-321,454	-320,964	978.730,521	-6,518
	102	7.615.913	533.544	3.395	0,517	1.047,63	-380,05	-320,385	-319,868	978.730,274	-6,087
	103	7.616.405	533.397	3.405	0,534	1.050,61	-381,13	-320,699	-320,165	978.730,000	-5,999
	104	7.616.845	533.316	3.405	0,551	1.050,68	-381,15	-320,417	-319,866	978.729,755	-5,982
	105	7.617.306	533.064	3.414	0,55	1.053,45	-382,16	-319,985	-319,435	978.729,498	-5,664
	106	7.617.749	532.824	3.418	0,563	1.054,84	-382,66	-319,301	-318,738	978.729,252	-5,203
	107	7.618.270	532.838	3.427	0,557	1.057,65	-383,68	-319,938	-319,381	978.728,962	-5,111
	108	7.618.735	532.872	3.431	0,545	1.058,64	-384,04	-319,512	-318,967	978.728,702	-4,923
	109	7.619.269	534.619	3.477	0,419	1.072,96	-389,23	-325,873	-325,454	978.728,404	-8,095
	110	7.619.778	534.623	3.485	0,407	1.075,40	-390,12	-326,945	-326,538	978.728,120	-8,267
	111	7.620.278	534.626	3.488	0,397	1.076,40	-390,48	-327,451	-327,054	978.727,842	-8,587
	112	7.620.784	534.533	3.493	0,385	1.077,98	-391,06	-327,286	-326,901	978.727,561	-8,246
	113	7.621.284	534.624	3.494	0,392	1.078,23	-391,14	-327,231	-326,839	978.727,283	-7,987
	114	7.621.857	534.677	3.502	0,399	1.080,60	-392,01	-327,242	-326,843	978.726,964	-7,469
	115	7.622.283	534.717	3.500	0,409	1.080,14	-391,84	-326,975	-326,566	978.726,727	-6,976
	116	7.622.782	534.706	3.494	0,423	1.078,18	-391,13	-326,452	-326,029	978.726,450	-6,528
	117	7.623.280	534.678	3.502	0,408	1.080,73	-392,05	-326,618	-326,21	978.726,172	-6,228
	118	7.623.775	534.649	3.514	0,378	1.084,49	-393,42	-327,152	-326,774	978.725,898	-6,215
	129	7.629.101	532.814	3.571	0,394	1.102,08	-399,8	-319,317	-318,923	978.722,943	0,665
	130	7.629.531	532.869	3.581	0,367	1.105,03	-400,87	-319,239	-318,872	978.722,704	0,871
	131	7.629.974	532.630	3.602	0,376	1.111,52	-403,22	-319,163	-318,787	978.722,459	1,155
	132	7.630.479	532.331	3.611	0,397	1.114,34	-404,25	-318,462	-318,065	978.722,179	1,671
	133	7.630.811	532.163	3.619	0,411	1.116,73	-405,11	-317,324	-316,913	978.721,995	2,03
	134	7.631.329	532.206	3.623	0,393	1.117,99	-405,57	-317,686	-317,293	978.721,708	2,341
	135	7.631.810	532.103	3.633	0,395	1.120,99	-406,66	-317,217	-316,822	978.721,442	2,686
	136	7.632.240	532.000	3.642	0,408	1.123,82	-407,69	-317,234	-316,826	978.721,204	2,907
	137	7.632.788	532.018	3.648	0,393	1.125,79	-408,4	-317,463	-317,07	978.720,900	2,889
	138	7.633.294	532.099	3.657	0,372	1.128,38	-409,34	-318,485	-318,113	978.720,620	2,381
	139	7.633.667	531.978	3.661	0,396	1.129,61	-409,79	-318,581	-318,185	978.720,413	2,227
	140	7.634.103	532.318	3.662	0,344	1.130,09	-409,96	-320,583	-320,239	978.720,172	1,482
	141	7.634.620	532.338	3.666	0,345	1.131,42	-410,44	-320,619	-320,274	978.719,885	1,861
	142	7.635.051	532.316	3.670	0,351	1.132,46	-410,82	-319,77	-319,419	978.719,647	2,386
	143	7.635.614	532.313	3.678	0,345	1.134,97	-411,73	-320,154	-319,809	978.719,335	2,254
	144	7.636.112	532.189	3.686	0,35	1.137,57	-412,67	-320,689	-320,339	978.719,060	1,566
	145	7.636.553	532.253	3.696	0,336	1.140,46	-413,72	-322,374	-322,038	978.718,815	0,694
	146	7.637.082	532.204	3.707	0,328	1.143,85	-414,95	-323,768	-323,44	978.718,523	-0,379
	147	7.637.599	532.049	3.716	0,337	1.146,81	-416,03	-323,982	-323,645	978.718,237	-0,502
	148	7.638.007	531.903	3.722	0,361	1.148,46	-416,62	-323,39	-323,029	978.718,012	-0,25
	149	7.638.488	531.974	3.722	0,349	1.148,52	-416,64	-323,464	-323,115	978.717,745	0,408
	150	7.639.005	532.118	3.728	0,342	1.150,42	-417,33	-323,174	-322,832	978.717,460	1,845
	151	7.639.410	532.258	3.730	0,356	1.151,16	-417,6	-320,688	-320,332	978.717,235	3,522
	152	7.639.912	532.460	3.729	0,376	1.150,76	-417,46	-321,459	-321,083	978.716,958	2,652
	153	7.640.501	532.398	3.692	0,409	1.139,30	-413,3	-323,722	-323,313	978.716,633	1,942
	154	7.640.940	532.454	3.728	0,423	1.150,56	-417,38	-324,898	-324,475	978.716,390	1,085
	155	7.641.389	532.356	3.730	0,441	1.151,15	-417,6	-324,45	-324,009	978.716,142	1,159
	156	7.641.864	532.523	3.739	0,463	1.153,74	-418,54	-325,589	-325,126	978.715,879	0,845
	157	7.642.384	532.542	3.743	0,484	1.155,21	-419,07	-326,167	-325,683	978.715,593	0,721
	158	7.642.860	532.375	3.748	0,495	1.156,58	-419,57	-325,615	-325,12	978.715,330	1,1
	159	7.643.338	532.297	3.753	0,509	1.158,11	-420,12	-325,343	-324,834	978.715,066	1,347
	160	7.643.602	532.516	3.759	0,527	1.159,88	-420,76	-326,122	-325,595	978.714,920	1,314
	161	7.644.173	532.642	3.766	0,557	1.162,06	-421,56	-326,369	-325,812	978.714,605	1,438
	162	7.644.647	532.787	3.771	0,588	1.163,61	-422,12	-327,196	-326,608	978.714,343	1,59
	163	7.645.248	532.558	3.782	0,598	1.167,10	-423,39	-326,13	-325,532	978.714,011	2,256
	164	7.645.649	532.399	3.787	0,603	1.168,60	-423,93	-325,604	-325,001	978.713,790	2,604
	165	7.646.116	532.152	3.792	0,603	1.170,06	-424,46	-325,243	-324,64	978.713,533	2,975
	166	7.646.459	532.138	3.788	0,615	1.168,81	-424,01	-325,011	-324,396	978.713,344	3,429
	167	7.647.067	532.028	3.804	0,641	1.173,85	-425,83	-324,13	-323,489	978.713,009	4,165
	168	7.647.536	532.077	3.813	0,652	1.176,57	-426,82	-323,86	-323,208	978.712,750	4,777
	169	7.647.988	532.271	3.816	0,674	1.177,67	-427,22	-324,025	-323,351	978.712,501	5,211
	170	7.648.442	532.491	3.838	0,706	1.184,32	-429,63	-324,64	-323,934	978.712,251	5,591
	171	7.648.954	532.586	3.845	0,737	1.186,68	-430,49	-324,758	-324,021	978.711,969	5,901
	172	7.649.365	532.732	3.855	0,767	1.189,52	-431,52	-325,177	-324,41	978.711,742	6,341
	173	7.649.888	532.800	3.845	0,798	1.186,55	-430,44	-324,275	-323,477	978.711,454	6,83
	174	7.650.531	533.020	3.859	0,854	1.190,83	-431,99	-324,871	-324,017	978.711,099	7,673
	175	7.650.872	533.027	3.863	0,876	1.192,02	-432,42	-323,607	-322,731	978.710,912	8,401
	176	7.651.195	533.276	3.867	0,922	1.193,33	-432,9	-323,91	-322,988	978.710,734	9,197
	177	7.651.681	533.649	3.867	1,055	1.193,22	-432,86	-325,456	-324,401	978.710,466	9,555
	178	7.652.194	533.633	3.869	1,088	1.194,08	-433,17	-324,884	-323,796	978.710,183	10,203
	179	7.652.708	533.670	3.880	1,121	1.197,40	-434,38	-323,786	-322,665	978.709,900	11,294
	181	7.653.483	533.663	3.893	1,159	1.201,46	-435,85	-322,844	-321,685	978.709,474	12,756
	182	7.653.961	533.944	3.899	1,274	1.203,13	-436,46	-321,377	-320,103	978.709,211	14,182
	183	7.654.377	533.991	3.908	1,316	1.206,01	-437,5	-322,049	-320,733	978.708,982	14,37
	184	7.655.042	534.084	3.913	1,431	1.207,54	-438,06	-323,555	-322,124	978.708,616	13,92
	185	7.655.303	534.315	3.906	1,538	1.205,47	-437,3	-324,243	-322,705	978.708,472	13,932
	186	7.655.871	534.438	3.889	1,65	1.200,21	-435,4	-325,375	-323,725	978.708,160	13,44
	187	7.656.320	534.597	3.899	1,758	1.203,09	-436,44	-326,291	-324,533	978.707,913	13,175
	188	7.656.829	534.706	3.905	1,879	1.205,09	-437,17	-327,215	-325,336	978.707,634	12,906
	189	7.657.240	534.688	3.908	1,864	1.205,97	-437,49	-327,916	-326,052	978.707,407	12,621
	190	7.657.722	534.732	3.915	1,884	1.208,02	-438,23	-327,795	-325,911	978.707,143	12,54
	191	7.658.213	534.921	3.917	1,988	1.208,87	-438,54	-329,233	-327,245	978.706,873	12,155
	192	7.658.700	535.203	3.921	2,102	1.210,08	-438,98	-330,395	-328,293	978.706,605	11,729
	193	7.659.191	535.435	3.926	2,135	1.211,44	-439,47	-331,805	-329,67	978.706,335	11,119