

AMPHOS 21 - DGA

**ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE
GRAVIMETRÍA Y
TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO (TEM, Nano-TEM)**

**SECTOR: QUEBRADA AROMA
IQUIQUE**

I REGION DE TARAPACA

DICIEMBRE 2013

INDICE DE MATERIAS

	Página
I INTRODUCCIÓN	1
II TRABAJO DE TERRENO	2
2.1 Disposición de Estaciones	
2.1.1 Registro Tem, NanoTem	
2.1.2 Registro Gravimétrico	
2.2 Instrumental Geofísico	
III.- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO TEM-NanoTEM	8
3.1 Proceso e inversión de Datos	
IV.- DESCRIPCION DEL METODO GRAVIMETRICO	10
V PROCESO DE INVERSIÓN DE DATOS	12
5.1 Sistema de Inversión NanoTem – Tem	
5.2 Secciones de Modelos 1D de Resistividad perfiles NanoTem	
5.4 Modelación Gravimétrica 2D	
5.3 Modelación Gravimétrica	

VI.- RESULTADO METODOS GEOFISICOS

16

6.1 Secciones de Interpretación Sondeos NanoTem y Tem.

6.1.1 Secciones de Interpretación Sector 1

6.1.2 Secciones de Interpretación Sector 2

6.1.3 Secciones de Interpretación Sector 3.

6.2 Secciones de Interpretación Perfiles Gravimétricos

6.2.1 Secciones de Interpretación Sector 1

6.2.2 Secciones de Interpretación Sector 2

6.2.3 Secciones de Interpretación Sector 3

VII CONCLUSIONES

24

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Ubicación General Área de Estudio

SECTOR 1

Fig. 2.1 Planta de Perfiles Geofísicos Sector 1

Fig. I-T1 Interpretación sondeo TEM 1

PERFILES Nano-TEM

Fig. NT-1A Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N1A

Fig. NT-1B Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N1B

Fig. NT-1C Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N1C

Fig. NT-1D Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N1D

Fig. NT-1As Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N1A

Fig. NT-1Bs Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N1B

Fig. NT-1Cs Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N1C

Fig. NT-1Ds Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N1D

Fig. I-NT-1A Sección de Interpretación, Perfil N1A

Fig. I-NT-1B Sección de Interpretación, Perfil N1B

Fig. I-NT-1C Sección de Interpretación, Perfil N1C

Fig. I-NT-1D Sección de Interpretación, Perfil N1D

PERFILES GRAVIMETRICOS

Fig. 3.1A	Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 1A
Fig. 3.1B	Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 1B
Fig. 3.1C	Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 1C
Fig. 3.1D	Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 1D

SECTOR 2

Fig. 2.2	Planta de Perfiles Geofísicos Sector 2
Fig. I-T2	Interpretación sondeo TEM 2

PERFILES Nano-TEM

Fig. NT-2A	Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N2A
Fig. NT-2B	Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N2B
Fig. NT-2C	Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N2C
Fig. NT-2D	Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N2D
Fig. NT-2As	Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N2A
Fig. NT-2Bs	Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N2B
Fig. NT-2Cs	Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N2C
Fig. NT-2Ds	Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N2D
Fig. I-NT-2A	Sección de Interpretación, Perfil N2A
Fig. I-NT-2B	Sección de Interpretación, Perfil N2B
Fig. I-NT-2C	Sección de Interpretación, Perfil N2C

Fig. I-NT-2D Sección de Interpretación, Perfil N2D

PERFILES GRAVIMETRICOS

Fig. 3.2A Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 2A

Fig. 3.2B Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 2B

Fig. 3.2C Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 2C

Fig. 3.2D Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 2D

SECTOR 3

Fig. 2.3 Planta de Perfiles Geofísicos Sector 3

Fig. I-T3 Interpretación sondeo TEM 3

PERFILES Nano-TEM

Fig. NT-3A Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N3A

Fig. NT-3B Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N3B

Fig. NT-3C Sección de Modelos 1D, modelo de capas, Perfil N3C

Fig. NT-3As Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N3A

Fig. NT-3Bs Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N3B

Fig. NT-23s Sección de Modelos 1D, smooth model, Perfil N3C

Fig. I-NT-3A Sección de Interpretación, Perfil N3A

Fig. I-NT-3B Sección de Interpretación, Perfil N3B

Fig. I-NT-3C Sección de Interpretación, Perfil N3C

PERFILES GRAVIMETRICOS

Fig. 3.3A Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 1A

Fig. 3.3B Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 1B

Fig. 3.3C Modelos de Interpretación Gravimétrica perfil 1C

Figuras en el Texto

Fig. G-1 Gráfico de la variación diurna del gravímetro

Fig. G-2 Modelo digital de terreno SRTM.

Tabla 2 Coordenadas de Estaciones.

Anexo: Modelos 1D de Capas y Suavizados de Estaciones TEM

I.- INTRODUCCIÓN

A petición de **AMPHOS 21**, Geodatos S.A.I.C. realizó un estudio geofísico mediante las técnicas de NanoTem y Gravimetría para un proyecto de la Dirección General de Aguas, en adelante **DGA**, del Ministerio de Obras Públicas, en el **sector de la Quebrada Aroma** - Huará, I Región de Tarapacá. Las mediciones geofísicas se efectuaron en 3 sectores dispuestos a lo largo de la quebrada, abarcando una distancia de aproximadamente 50 Km. En cada sector se definieron perfiles con estaciones cada 25 metros tanto para el NanoTem como para la Gravimetría (**Fig. 1**).

El objetivo específico de este Estudio geofísico es caracterizar hidrogeológicamente la parte somera de la Quebrada Aroma, relacionada con la zona del Acuífero somero contenido en el relleno sedimentario. Para determinar las características geoelectricas de la sub-superficie se utilizó el método de Transiente Electromagnético NanoTem, que permite obtener información de la estratigrafía, nivel de agua subterránea y espesor del Acuífero. Por su parte, se utilizó la Gravimetría para caracterizar la forma de la cuenca y el contraste entre los sedimentos y basamento. También se ha incluido en el presente estudio la medición de una estación de Transiente electromagnético TEM en cada sector, con la finalidad de monitorear variaciones en el basamento el cual puede contener diferentes tipos de roca en profundidad.

En el sector 1 de la quebrada localizado más al Este, se definieron 4 perfiles transversales a la quebrada de modo que se pueda distinguir una continuidad aguas abajo por la quebrada. Igualmente en el sector 2 se definieron 4 perfiles en la misma disposición del sector 1, encontrándose en este sector una quebrada menos estrecha. En el sector 3 distante unos 40 Km más abajo, se dispusieron 3 perfiles que se consideraron suficientes para lograr el objetivo. Cabe hacer notar que la planificación

original de la geofísica fue replanteada en terreno de acuerdo a las posibilidades de la instalación de las estaciones NanoTem.

En la tabla N° 1, se muestra el resumen de estaciones levantadas por método y sector.

Sector	Estaciones		
	Gravimétricas	NanoTem	TEM
1	38	30	1
2	32	24	1
3	30	28	1
Total	100	82	3

II.- TRABAJO DE TERRENO

2.1 Disposición de Estaciones

2.1.1 Registro Tem, NanoTem

Se registró un total de 82 estaciones NanoTem, 30 de las cuales se distribuyen en 4 perfiles sobre el sector 1, 24 en 4 perfiles para el sector 2 y 28 para 3 perfiles en el sector 3. Además en cada sector se incluyó la medición de una estación TEM como se muestra en la Planta de cada sector, **Figuras 2_1, 2_2 y 2_3**. El trabajo de terreno se ejecutó entre los días 01 al 06 de noviembre del 2013, y fueron medidos por un operador especializado, movilizado en vehículo 4x4 doble cabina.

Las coordenadas y elevaciones de las estaciones NanoTem fueron replanteadas con instrumental GPS diferencial, el mismo utilizado en la gravimetría, en Sistema de Coordenadas **WGS84, método de Proyección UTM Huso Zona 19S**. El detalle de las coordenadas de cada estación se presenta en la tabla N°2.

2.1.2 Registro Gravimétrico

Los datos gravimétricos y topográficos fueron medidos por un operador especializado, movilizado en vehículo 4x4 doble cabina, sistemas de localización GPS diferencial en modalidades RTK y post proceso. La campaña de terreno se realizó entre el 31 de octubre y el 06 de Noviembre del 2013. La distribución de perfiles por sector es la misma que el NanoTem, adicionándose algunas estaciones en cada perfil para terminar en roca. El detalle de las coordenadas de las estaciones se muestra en la tabla N°2.

2.2 Instrumental Geofísico

El personal de campo estuvo formado por un operador geofísico especializado y 4 ayudantes técnicos. El equipo de apoyo logístico está formado por 2 vehículos 4WD doble tracción e instrumental GPS. El equipo de apoyo técnico incluye computadora portátil, radios de intercomunicación y teléfonos satelitales. El equipo geofísico de adquisición de datos de transiente electromagnético es marca Zonge Engineering & Research Organization, Inc. USA, compuesto por:

- Receptor digital multipropósito modelo GDP-32,
- Transmisor modelo ZT-30, con baterías como fuente de energía,
- Transmisor modelo NT-20, con baterías como fuente de energía
- Computador de campo y equipo de apoyo.

El receptor funciona en un intervalo de frecuencias desde DC hasta 8 KHz y puede ser utilizado para métodos eléctricos y electromagnéticos como TEM, NanoTEM, IP (en los dominios del tiempo y de la frecuencia), CSAMT, AMT, etc. El instrumento posee filtros digitales controlados por software. Los datos son grabados en la memoria de estado sólido del receptor y transferibles electrónicamente a computadoras.

Las mediciones de NanoTEM se obtuvieron con la configuración “in loop”, en la cual la antena transmisora es una espira cuadrada de cable aislado desplegada sobre la superficie del terreno. La antena receptora corresponde a otra espira de menores dimensiones con el cable tendido concéntricamente al anterior. Los parámetros de medición fueron los siguientes:

Antena transmisora	Espira de 50 m x 50 m
Configuración	‘in-Loop’
Frecuencias de repetición	32 y 64 Hz
Antena receptora	Espira de 10 m x 10 m
Variable medida	Componente vertical del campo magnético

Las mediciones de TEM se obtuvieron con la configuración “loop coincidente”, en la cual la antena transmisora es una espira cuadrada de cable aislado desplegada en sobre la superficie del terreno. La antena receptora corresponde a otra espira de dimensiones similares con el cable tendido paralelamente al anterior. Los parámetros de medición fueron los siguientes:

Frecuencias de repetición	Intervalo binario de 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 y 32 Hz
Configuración	‘CoincidentLoop’
Antena transmisora	Espira cuadrada de 100 m x 100 m
Antena receptora	Espira cuadrada de 100 m x 100 m
Variable medida	Componente vertical del campo magnético

El instrumental usado para las mediciones gravimétricas y topográficas es el siguiente:

- Gravímetro Scintrex CG-3 Digital Automatizado.

- GPS geodésico AshtechProMark2, estación base y 1 móvil (error Horizontal : 12 milímetros \pm 2.5ppm, Vertical : 15 milímetros \pm 2.5 ppm modo dinámico)
- GPS Doble Frecuencia CHC X9000 RTK , estación base y 2 móviles (error Horizontal : 10 milímetros \pm 1ppm, Vertical : 20 milímetros \pm 1ppminiciación 10 segundos)
- GPS de navegación en tiempo real Garmin 45 (error \sim 30 m)

Gravímetros Scintrex modelo CG-3

El gravímetro Scintrex modelo CG-3 del tipo “microgravity meter” tiene resolución geodésica de 0.001 mgals. Este instrumento está basado en un microprocesador, posee un rango de operación de 8000 mgal sin necesidad de inicializar y exhibe características avanzadas en relación con gravímetros convencionales, ya que al introducir mediciones automáticas con muestreo continuo y análisis estadísticos reduce considerablemente el tiempo de medición y los errores de operación. Las mediciones son corregidas automáticamente por mareas, temperatura y errores de nivelación y son almacenadas en una memoria sólida que puede ser extraída por un computador o directamente hacia una impresora. Sus especificaciones técnicas se indican en la siguiente tabla 3:

Parámetro	Valor
Tipo de sensor:	Cuarzo fundido con NULO electrostático
Resolución de lectura:	1 microgal (0.001 mgal)
Desviación Standard:	menor que 10 microgal
Rango de Operación:	8,000 mgal sin reseteo
Deriva residual estática:	menos que 0.02 mgal por día

Rango de Compensación	
por nivelación automática:	± 200 arcseg.
Correcciones automáticas:	Marea, Nivelación, Temperatura, Ruidos
Memoria:	48k RAM, hasta 1200 lecturas
Temperaturas de Operación:	-40 °C a +45 °C
Salida digital:	RS-232 serial

Sistema de posicionamiento de GPS diferencial.

Se usó un sistema de posicionamiento GPS CHC doble frecuencia que consta de dos receptores, de los cuales uno es usado como estación base en la modalidad RTK acompañada de una radio base de 20W Huace DL5 y otro GPS receptor como estación de campo en modalidad RTK .

Características GPS CHC

- 72 canales paralelos
- L1, L2, L2c, Glonass.
- 1 RS232 serial port y 1 high-speed USB
- Comunicación vía Bluetooth integrado
- Comunicación vía radio modem (2) internalRx: 410/430 - 430/450 - 450/470 MHz
- Protocolo RTCM2.1, RTCM2.3, RTCM3.0, CMR, CMR+ input, NMEA0183 y GSOF
- Salida RINEX and HCN

Especificaciones de Precisión RTK

- Horizontal: 10mm+1ppm
- Vertical: 20mm+1ppm RMS
- Tiempo de iniciación 10s

Especificaciones de Precisión Post Proceso

- Horizontal: 5mm+1ppm RMS
- Vertical: 10mm+2ppm RMS

III.- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO TEM-NanoTEM

La técnica de TEM-NanoTEM es un método electromagnético de prospección geofísica que funciona en el dominio del tiempo. Operacionalmente, se aplica una corriente eléctrica variable a una espira de cable aislado desplegado con una forma usualmente cuadrada sobre el terreno. Esta corriente genera un campo magnético (principal) que induce corrientes de conducción en el subsuelo. Luego se interrumpe la corriente y se mide el campo magnético (secundario) inducido por las corrientes de conducción, el cual posee una respuesta transiente, es decir, dependiente del tiempo. Este fenómeno de transiente magnético se mide mediante la detección del voltaje que se induce en un loop receptor o bobina. En este caso, la modalidad NanoTEM tiene la particularidad de medir los tiempos muy cercanos, lo que permite tener información de detalle de la resistividad somera.

Las corrientes inducidas en el subsuelo se distribuyen de acuerdo al mecanismo físico de difusión y el comportamiento que muestran depende de las resistividades, tamaños y formas de las estructuras geoelectricas sub-superficiales. En zonas de bajas resistividades, la disipación de las corrientes es lenta, con una amplitud inicial pequeña. En zonas de altas resistividades, se tiene una amplitud inicial mayor, pero el decaimiento es más rápido. El análisis numérico de la curva transiente, o de decaimiento en el tiempo del campo magnético, permite inferir información cuantitativa acerca de los parámetros geoelectricos del subsuelo.

La técnica de TEM-NanoTEM es inductiva, lo que evita el problema de las altas resistencias de contacto de los métodos galvánicos (que requieren introducir corriente directamente al subsuelo) en sectores de costras salinas superficiales muy resistivas (por ejemplo, caliche), como en ciertas zonas del norte de Chile.

La curva transiente se mide en una serie de instantes durante fracciones de segundo. El equipo de medición genera una corriente alterna de tipo positiva-nula-negativa-nula, registrando el transiente durante los intervalos de corriente transmisora nula. La

frecuencia de esta corriente (frecuencia de repetición) varía usualmente entre 1 y 32 Hz, en forma binaria.

3.1 Proceso e Inversión de Datos

El proceso de los datos de terreno incluye: a) análisis de calidad de los datos examinando las curvas de decaimiento del voltaje y de la resistividad aparente para cada estación, b) generación e impresión de gráficos para revisión, c) selección de la frecuencia de mejor respuesta y preparación de información al procedimiento de inversión. Estos pasos son realizados mediante los sistemas TEMIXXL, Oasis Montaj y programas propios de Geodatos.

La interpretación geofísica de los datos de transiente electromagnético incluye la inversión de las curvas de resistividad aparente para obtener las resistividades intrínsecas y los espesores de los estratos del subsuelo, asumiendo un modelo estratificado o 1D de la resistividad sub-superficial. Este modelo 1D se considera válido en la vecindad de cada estación. La medición de sondeos TEM-NanoTEM a lo largo de un perfil permite detectar cambios laterales en los parámetros geoeléctricos, lo que conduce a una visión 2D del subsuelo en cada perfil, esto es, a una sección geoeléctrica. La posible distorsión de los datos observada en una inversión 1D es también indicativa de la presencia de efectos 2D y aún 3D bajo la estación.

El software usado para las inversiones es el sistema interactivo TEMIXXL de Interpex, el cual posee dos métodos de inversión. Con el procedimiento 'smoothmodel' el programa realiza una inversión semi-automática de los datos entregando una variación relativamente continua de la resistividad, definida en un gran número de capas delgadas. Utiliza para ello el método de Occam, con el cual se obtienen modelos que prescinden de características que no son esenciales en el ajuste de las observaciones.

Con el procedimiento 'layeredmodel', usado en este trabajo, el sistema permite variar interactivamente un modelo, de un número suficiente de capas para ajustar apropiadamente la curva teórica a la observada, mediante el método de Marquardt ('ridgeregression').

IV.- DESCRIPCION DEL METODO GRAVIMETRICO

En el área de trabajo se estableció una base general de terreno llamada base -1, la que sirvió para amarrar diariamente todas las estaciones medidas en la zona de estudio, la estación bases se ubicó en un lugar estable de fácil acceso y libre de ruido cultural. Cada día se efectuaron mediciones en terreno las cuales fueron registradas para evaluación de repetitividad y que están incluidas en el anexo Informe de terreno.

El posicionamiento de la red de bases gravimétricas se realizó mediante GPS Diferencial en modo RTK, con una precisión de +/- 1 cm en la vertical y +/- 10 cm en la horizontal.

Las estaciones gravimétricas se levantaron de acuerdo a lo que se muestra en las **figuras 2_1, 2_2 y 2_3** para los tres sectores en estudio y el listado de coordenadas anexo. **La figura G -1** corresponde a un gráfico con la variación gravimétrica diurna obtenida en terreno, para testear el buen funcionamiento del Gravímetro.

Cada estación gravimétrica fue levantada usando un método de "loop" ligado a una estación base que es registrada al inicio y al final del "loop", el error de cierre se distribuyó proporcionalmente al intervalo de tiempo entre lecturas.

Las mediciones gravimétricas fueron efectuadas de acuerdo con la siguiente modalidad:

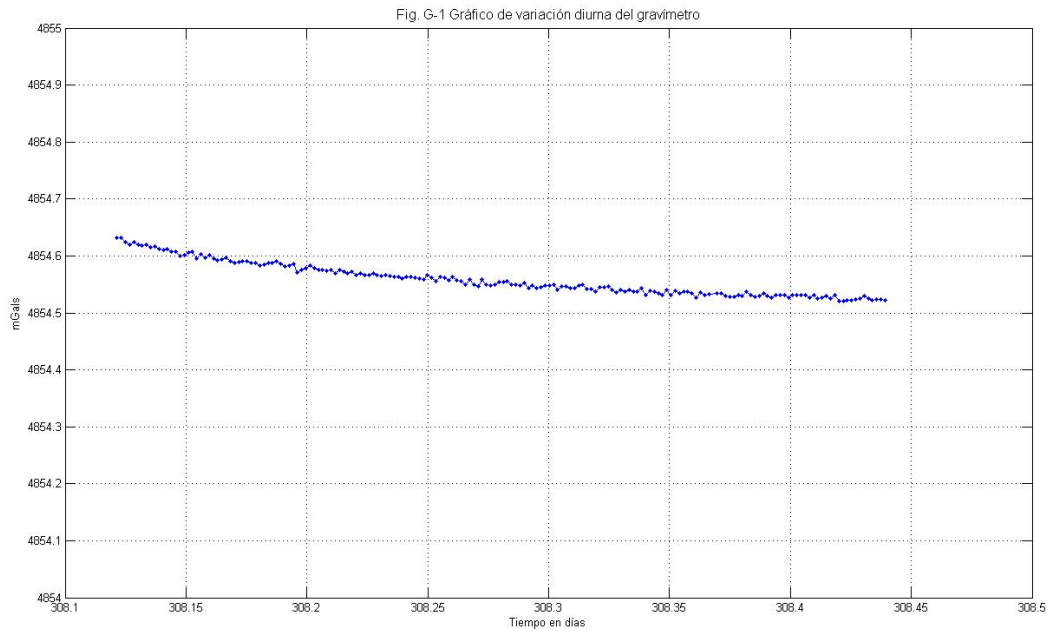


Figura G-1

- El gravímetro es nivelado en la estación de medición al menos un minuto antes de tomar la medida con el fin de permitir su estabilización.
- Cada medición gravimétrica fue repetida al menos una vez. En caso de exceder la precisión del equipo por causa de ruido cultural, se repitió la medida las veces que fue necesario para obtener un buen promedio.
- En casos en que la estación planificada estaba ubicada en un lugar de topografía inaccesible, el operador procedió a re-localizarla en el lugar más cercano de acceso aceptable.

V.- PROCESO DE INVERSIÓN DE DATOS

5.1 Sistema de Inversión NanoTem - Tem

La inversión de la curva de resistividad de un sondeo NanoTem o Tem permite obtener las resistividades y espesores de un modelo estratificado del subsuelo (modelo 1D) bajo la estación de medición. En este estudio la repetición de sondeos NanoTem a lo largo de una línea posibilita detectar cambios laterales de los parámetros geoeléctricos, lo que se puede representar en un perfil o sección (2D) de resistividad.

Para la inversión de los datos se usó el sistema IX1D de Interpex, el cual posee dos métodos de inversión. El algoritmo 'layeredmodel' permite variar interactivamente un modelo de pocos estratos (modelo de capas reducidas), pero suficiente para un ajuste apropiado de la curva de decaimiento observada.

Por su parte, el algoritmo denominado 'smoothmodel' realiza una inversión semi-automática, entregando un gran número de capas delgadas (modelo de capas múltiples), con una variación relativamente continua de la resistividad.

En ambientes estratificados es más representativo el primer tipo de modelo. Comparativamente, en general el segundo puede contener más detalles de la variación de la resistividad con la profundidad, mientras que el primero puede dar mayor precisión de las profundidades de las interfaces de los estratos.

5.2 Secciones de Modelos 1D de Resistividad perfiles NanoTem

Sobre la base de los modelos 1-D individuales obtenidos en las estaciones NanoTem, se generan las 11 secciones de resistividad interpolando los modelos 1D adyacentes.

Las figuras **NT-1A a NT-1D** muestran las secciones de resistividad obtenidas a partir de los modelos de capas ('layeredmodel') en una representación de grillas de color para el sector 1, De la misma forma, las figuras **NT-1As a NT-1Ds** muestran las secciones de resistividad obtenidas a partir de los modelos 1D suavizados ('smoothmodel') para este mismo sector. Para el sector 2 las figuras correspondientes son **NT-2A a NT-2D y NT-2As a NT-2Ds** para los modelos de capas y suavizados respectivamente. Igualmente para el sector 3 las figuras son **NT-3A a NT-3C y NT-3As a NT-3Cs** para los modelos de capas y suavizados respectivamente.

La zonificación de colores de la resistividad eléctrica va desde los 1 a 1000[Ω-m], ecualizada manualmente de manera de reflejar los cambios de resistividad en los diferentes intervalos de interés.

Los datos provenientes de situaciones más complejas que una distribución estratificada de la resistividad aparecen como distorsiones de las curvas transientes al ser invertidas con un sistema 1D, lo que provoca una pérdida de precisión en la recuperación de la imagen geoelectrica del subsuelo.

5.3 Modelación Gravimétrica

La información gravimétrica ha sido procesada en forma estándar. Cabe hacer notar que el gravímetro Scintrex CG-3 corrigen en forma automática la deriva instrumental y los efectos de marea, sin embargo, por tratarse de instrumentos nuevos y sometido además a fuertes vibraciones, se ha considerado necesario efectuar cierres diarios sobre un punto de referencia. La diferencia en la lectura es compensada sobre el universo de estaciones diarias en función del tiempo. En general las lecturas de cierre

son inferiores a 0.07 mgal, lo cual es un valor razonable para las exigencias del tipo de trabajo efectuado.

Las correcciones aplicadas para la obtención de la Anomalía de Bouguer (Δg), son las siguientes:

$$\Delta g = G_{obs} + \Delta_{atmos} - G_{teo} - \Delta_{boug} + \Delta_{a_libre} + \Delta_{topo}, \text{ donde:}$$

- G_{obs} : gravedad observada

Δ_{atmos} : corrección atmosférica = $0.87 \exp(-0.116 h^{1.047})$; h: altura sobre el nivel del mar

- G_{teo} : gravedad teórica (WGS84) = $G_0 (1 + C_1 \sin^2 \alpha) / (1 - C_2 \sin^2 \alpha)^{1/2}$

$G_0 = 978032.67714$

$C_1 = 0.00193185138639$

$C_2 = 0.00669437999013$

α = latitud

- Δ_{boug} : corrección de bouguer = $2\pi G \rho h$

G: constante de gravitación universal = 0.00667 (para densidades en [gr/cc] y alturas en [m])

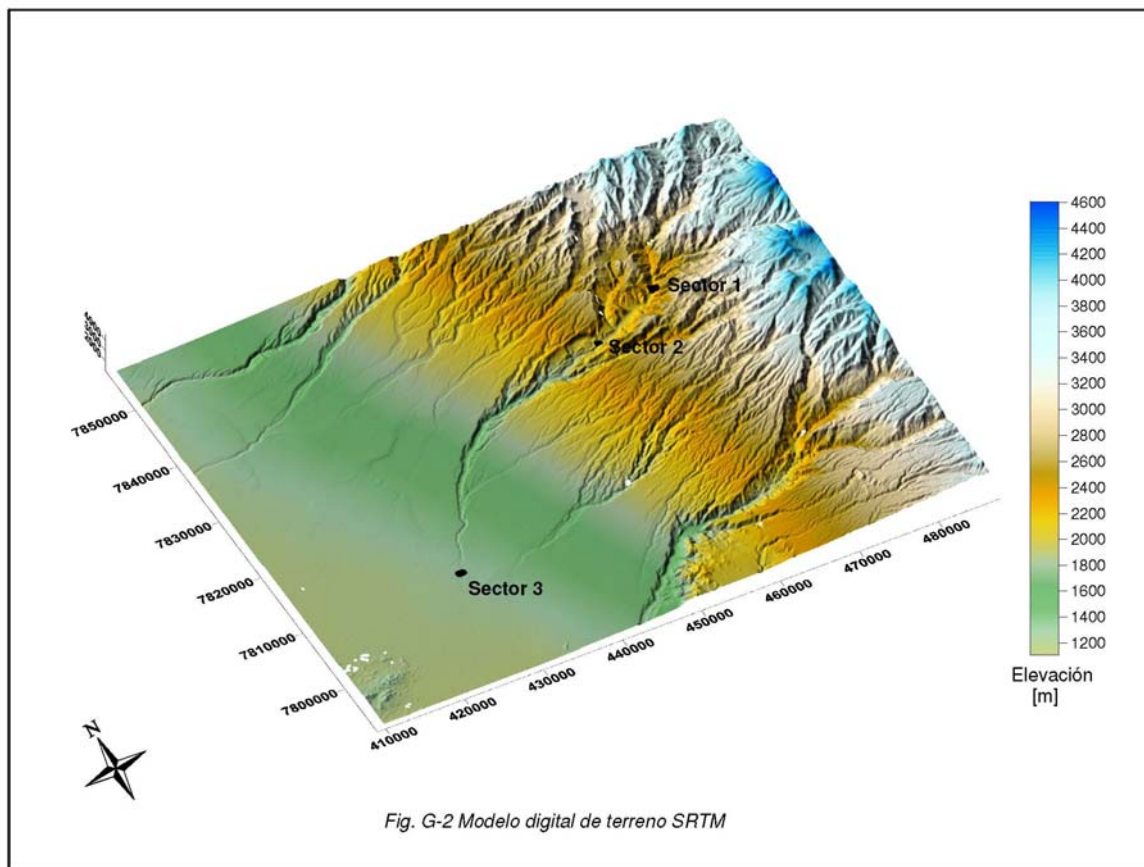
ρ : Densidad media de la corteza (2.6 gr/cc).

Δ_{a_libre} : corrección de aire libre = $0.3086 h$

- Δ_{topo} : corrección topográfica (ver estimación en párrafo siguiente)

La corrección topográfica fue calculada para cada estación de acuerdo al procedimiento contenido en el software Oasis Montaj para lo cual se usó un modelo digital de terreno como se muestra en la **Figura G-2**, obtenido de la topografía pública SRTM.

El algoritmo que se utiliza en este software está basado en los métodos descritos por Kane(1962) y Nagy (1966). Esta corrección topográfica ha sido agregada a la Anomalía Simple de Bouguer, obteniendo la Anomalía de Bouguer.



5.4 Modelación Gravimétrica 2D

La interfaz sedimentos / basamento o interfaz de sedimentos con distintas densidades se determinó con el modelamiento de las líneas gravimétricas con el sistema

Model_Vision_Pro, considerando un modelo 2D de cuencas formado por unidades de densidades homogéneas, que representan los depósitos sedimentarios y la roca basal.

Las **figuras 3.1A a 3.1D** presentan los modelos de cuenca de las 4 líneas del sector 1, las **figuras 3.2A a 3.2D** corresponden a los modelos de los 4 perfiles del sector 2, finalmente las **figuras 3.3A a 3.3C** corresponden a los modelos de los 3 perfiles del sector 3. Cada figura consta de dos paneles: el superior muestra los datos gravimétricos, el regional local y la curva sintética; el inferior es una sección del relieve interpretado del basamento o de un cambio de densidad entre capas sedimentarias. Además se dibuja en cada panel inferior una línea vertical que indica un cambio geoelectrico interpretado en la inversión de capas en el estudio NanoTem.

VI.- RESULTADOS METODOS GEOFISICOS

El objetivo general del presente trabajo geofísico es la caracterización hidrogeológica de la Quebrada Aroma, para lo cual se desarrollaron principalmente dos metodologías: NanoTem para la caracterización geoelectrica del subsuelo y Gravimetría para el estudio de los cambios de densidad de los sedimentos y/o rocas basales.

Las propiedades geoelectricas dependen de la mineralogía (litología) y microestructura (porosidad, granulometría, fracturamiento) de los sedimentos y rocas. Afecta de manera importante a la resistividad, el tipo de fluidos que contengan los intersticios en los sedimentos y rocas, especialmente el grado de saturación, salinidad que en cuencas sedimentarias como en ésta zona, pueden jugar un rol preponderante para la caracterización de acuíferos.

En relación a los cambios de densidad se debe tener presente que el estudio gravimétrico corresponde a una micro-gravimetría y por lo tanto la sensibilidad de la aceleración de gravedad detectada, reflejara cambios más o menos superficiales del terreno.

6.1 Secciones de Interpretación Sondeos NanoTem y Tem.

Tomando como base las secciones de resistividad generadas a partir de la inversión de modelo de capas, se realizó una correlación entre las unidades de diferentes rangos de resistividad, con estratos de diferentes características litológicas.

Estas secciones se realizaron con ayuda del software de dibujo “Autocad”, donde se distinguen a los diferentes estratos por distintos colores y tramados. Las **figuras I-NT-1A a I-NT-1D** corresponden a las interpretaciones de las secciones de capas de los 4 perfiles del sector 1 y la **figura I-T1** corresponde a la interpretación de la inversión unidimensional asociada al Tem de este sector. Las **figuras I-NT-2A a I-NT-2D** corresponden a los 4 perfiles del sector 2 y la **figura I-T2** corresponde a la interpretación de la inversión unidimensional asociada al Tem de este sector. Las **figuras I-NT-3A a I-NT-3C** corresponden a las interpretaciones de los 3 perfiles del sector 3, la **figura I-T3** muestra la interpretación del Tem realizado en este sector.

Las secciones de interpretación se presentan a escala 1:1000 y con factor de exageración de 1 en la vertical.

6.1.1 Secciones de Interpretación Sector 1.

En este sector se presentan claramente tres capas o unidades geoelectricas, la primera corresponde una unidad asociadas a sedimentos superficiales no saturados con

resistividades que van desde los 300 Ohm-m hasta los 1200 Ohm-m con espesores de entre 10 m y 20 m.

Luego se puede observar una unidad conductora asociada a gravas, arenas y arcillas, posiblemente saturados (acuífero?), con resistividades que van desde los 5 Ohm-m hasta los 30 Ohm-m y espesores de entre 5 m y 15 m.

Finalmente se encuentra la roca basal como una unidad geoelectrica de mediana a alta resistividad, observándose valores desde los 100 Ohm-m hasta los 2000 Ohm-m, cuya alta variabilidad se asocia a diferentes grados de alteración de la roca basal.

En el caso del sondaje Tem (figura I-T1) solo detecta la roca basal ya que esta se encuentra a unos 20 metros haciendo imposible la detección de capas superficiales.

La siguiente tabla es un registro de los resultados de este transiente electromagnético:

Localización UTM: 468,396E 7,838,276 N				
E=Estrato R=Resistividad (ohm-m) P=Profundidad (m) H=Espesor (m)				
E	R	P	H	Descripción
1	728	0 - 90	90	Roca basal

6.1.2 Secciones de Interpretación Sector 2.

En este sector se observa una mayor complejidad geoelectrica en la cual se han definido 5 unidades asociadas a diferentes resistividades.

Una primera capa muy delgada es definida como sedimentos superficiales no saturados, con resistividades similares a las encontradas en el sector 1 pero con espesores menores.

La segunda capa observada corresponde a una unidad conductora asociada a arcillas, con resistividades de entre 1 Ohm-m y 5 Ohm-m, con espesores variables según el perfil. En el perfil A presenta un espesor uniforme de 3 m, en cambio en el perfil B esta

unidad presenta espesores que van desde los 5 m hasta los 20 m. En el caso del perfil C esta unidad no es detectada por el método y en el perfil D se observan espesores de entre 10 m y 20 m.

La tercera unidad geoelectrica definida corresponde a gravas y arenas saturadas, tiene resistividades que van desde los 10 Ohm-m hasta los 25 Ohm-m, alcanzando los 38 Ohm-m en el perfil C. Es una unidad que tiene poca presencia en los perfiles A y B en forma de estratos sub-superficiales, en cambio en los perfiles C y D su presencia es más importante a mayor profundidad que en los otros perfiles.

La cuarta capa detectada corresponde a arenas y limos saturados, es una unidad geoelectrica conductora y presenta variados espesores de entres 10 m a 40 m. Las resistividades no superan los 10 Ohm-m.

Una quinta unidad geoelectrico es definida como gravas arcillosas saturadas, esta unidad presenta resistividades un poco mayores que la unidad anterior y en general presenta grandes espesores de hasta 40 m.

Es muy probable que estas unidades sean potenciales acuíferos cuya potencia en profundidad no alcanza a quedar definida por el NanoTem.

Finalmente en se defina una última capa como roca basal asociada a un intrusivo que tiene presencia solo en el perfil D, alcanzando un techo de 20 m bajo la superficie. Presenta resistividades de entre 500 Ohm-m y 800 Ohm-m.

El sondaje Tem realizado en este sector (figura I-T2) muestra un espesor asociado a la unidad arenas y limos saturados de 172 m, para dar paso a una unidad geoelectrica definida como sedimentos compactos y/o roca basal alterada. En las capas superficiales se observa alguna coincidencia con el NanoTem, sin embargo se debe tener en cuenta que el Tem el loop es de 100 m y por lo tanto la sensibilidad es mucho menor a la ofrecida por el NanoTem.

A continuación se presenta una tabla con los resultados del transiente electromagnético:

Localización UTM: 458,900E 7,833,789 N				
E=Estrato R=Resistividad (ohm-m) P=Profundidad (m) H=Espesor (m)				
E R	P	H	Descripción	
1	33.9	0 - 24	24	Sedimentos superficiales, no saturados.
2	7.7	24 - 48	24	Sedimentos finos arcillosos
3	17.1	48 – 87	39	Gravas y arenas saturadas
4	12.6	87 – 259	172	Arenas y limos saturadas
5	46.0	259 -		Sedimentos compactos y/o roca basal alterada

6.1.3 Secciones de Interpretación Sector 3.

El sector 3 se presenta más homogéneo que los otros sectores, en el sentido de observar una distribución de capas sub-horizontales repetidas en los tres perfiles en estudio.

La primera capa está definida como sedimentos superficiales no saturados, siendo una unidad geoelectrica de alta resistividad, variando de 300 Ohm-m a más de 5000 Ohm-m, variabilidad que pudieran corresponder a diferencias en granulometrías, niveles de humedad, grados de sedimentación, entre otros aspectos.

A continuación se observa una unidad conductora asociada a gravas, arenas y arcillas, con espesores pequeños no alcanzando más de 10 m. Las resistividades observadas son de entre 5 Ohm-m y 30 Ohm-m.

La unidad anterior da paso a una capa geoelectrica de mediana a alta resistividad, asociada a sedimentos compactos y/o lavas, con valores de resistividad entre los 40 Ohm-m y los 400 Ohm-m. En los tres perfiles presenta espesores de 20 m a 40 m.

Luego se observa una última unidad de alta conductividad asociada a sedimentos antiguos posiblemente saturados, que pueden constituir un acuífero de potencia incierta en profundidad.

El sondaje Tem determina al menos tres capas bajo la interpretación NanoTem, presentando cierta continuidad entre la última capa del NanoTem y la segunda del Tem. Si bien la resistividad sube en la última capa de la interpretación del Tem., llegando a los 80 Ohm-m., no se trataría de una roca basal impermeable y se trataría de una roca basal con un importante grado de alteración.

La siguiente tabla muestra los resultados del sondaje TEM:

Localización UTM: 428,949 E 7,809,897 N				
E=Estrato R=Resistividad (ohm-m) P=Profundidad (m) H=Espesor (m)				
E	R	P	H	Descripción
1	63.9	0 – 80	80	Sedimentos superficiales.
2	8.9	80 – 205	125	Arenas, limos y arcillas, saturadas
3	3.4	205 – 280	75	Arcillas
4	79.6	280 -		Sedimentos compactos y/o roca basal alterada

6.2 Secciones de Interpretación Perfiles Gravimétricos

Se han generado 11 modelos de Gravimetría, denominados figura 3.1A a 3.1D para el modelo de cuenca asociado a los 4 perfiles del sector 1. Las figuras 3.2A a 3.2D representan los modelos de cuenca que representan a los 4 perfiles del sector 2. Finalmente las figuras 3.3A a 3.3C son los modelos de cuenca asociados a los tres perfiles del sector 3.

En dichas figuras se representa en la parte superior la anomalía de Bouguer expresada en [mGal] indicando los datos de gravedad, la respuesta calculada y la tendencia regional.

En la parte inferior de cada figura se presenta el modelo de cuenca de cada perfil, en la cual se ha considerado un contraste de densidad igual a -0.9 [gr/cc] para el sector 1, de -0.6 [gr/cc] para el sector 2 y de -0.45 [gr/cc] para el sector 3.

Se debe tomar en cuenta que la exageración vertical de cada figura ha sido determinada de acuerdo a la extensión del perfil, por lo que las escalas han sido adecuadas para cada sección. Por ello, es importante notar la elevación (escala vertical) de cada figura para comparar potencias de rellenos entre una y otra sección.

6.2.1 Secciones de Interpretación Sector 1

El sector 1, es el que se presenta en la forma clásica para un modelo de cuenca en que tenemos un relleno sedimentario sobre una roca basal. Con un contraste de -0.9 [gr/cc] el relleno representado por una línea vertical asociada a las capas conductoras obtenidas por el NanoTem en cada estación, muestran un ajuste satisfactorio en los cuatro perfiles.

Es importante hacer notar que la interpretación gravimétrica se dificulta en quebradas estrechas debido a la falta de una topografía de alta resolución para poder obtener los amarres a roca y una buena definición para el regional.

6.2.2 Secciones de Interpretación Sector 2

El sector 2 presenta una complejidad especial debido a la heterogeneidad en las formas de las capas sedimentarias. En este caso el contraste de -0.6 [gr/cc] no

representa un contraste de sedimentos a roca basal sino un contraste entre los sedimentos conductores y los sedimentos de mediana resistividad los que en las unidades geoelectricas están asociados a gravas y arenas saturadas y/o gravas arcillosas saturadas. Los ajustes en estos modelos son más complejos y por lo tanto menos finos.

6.2.3 Secciones de Interpretación Sector 3

El sector 3 es particularmente especial debido a que al igual que en el caso anterior no tenemos presencia de roca basal sin embargo el contraste de densidad se produce entre las tres primeras capas asociadas a sedimentos superficiales no saturados, sedimentos de gravas, arenas y arcillas más los sedimentos compactos y/o lavas, con el sedimento de la última capa asociado a sedimentos antiguos saturados, y por lo tanto asociado a una unidad geoelectrica conductora.

Los ajustes de esta interface parecen bien representado en las variaciones de Bouguer para un contraste de densidad de -0.45 [gr/cc].

Finalmente decir que los contrastes de densidad van disminuyendo a medida que bajamos por la quebrada, esto como reflejo de la presencia cada vez más importante de sedimentos con grandes espesores, los que indican la presencia de acuíferos cada vez más potentes.

VII. CONCLUSIONES

El trabajo efectuado ha permitido definir diferentes unidades que han sido interpretadas exclusivamente en base a criterios geofísicos. Las conclusiones obtenidas mediante técnicas geoeléctricas, pudieran complementarse y enriquecerse a medida que se cuente con mayor información hidrogeológica, geología de detalle, y otros antecedentes como sondajes y/o descripción litológica de pozos aledaños, que permitirían caracterizar de mejor forma las unidades descritas anteriormente, así como también correlacionar el parámetro de resistividad con otros de interés como porosidad, permeabilidad, salinidad, granulometría de los sedimentos, etc. permitiendo inferir y caracterizar de mejor manera el subsuelo y el comportamiento hidrogeológico del área de estudio. Así como también sería favorable contar con información a posteriori, relacionado con pruebas de bombeo que permitan conocer el caudal de los pozos a perforar, con el objetivo de correlacionar parámetros como la permeabilidad, resistividad eléctrica y conductividad hidráulica.

Se recomienda que para fines de un análisis detallado de la variación de resistividades en el subsuelo, se revise el modelo multicapa (smooth), pues presenta fluctuaciones continuas de dicha propiedad geoeléctrica, mientras que para un análisis discreto del subsuelo, se puede recurrir al modelo de capas, el que es favorable cuando se presenta un claro contraste de resistividades. Se debe mencionar la buena calidad de los datos, lo que facilitó la inversión y asimilación de un modelo de capas y multicapas con un error bajo y poco ruido cultural en la curva del transiente.

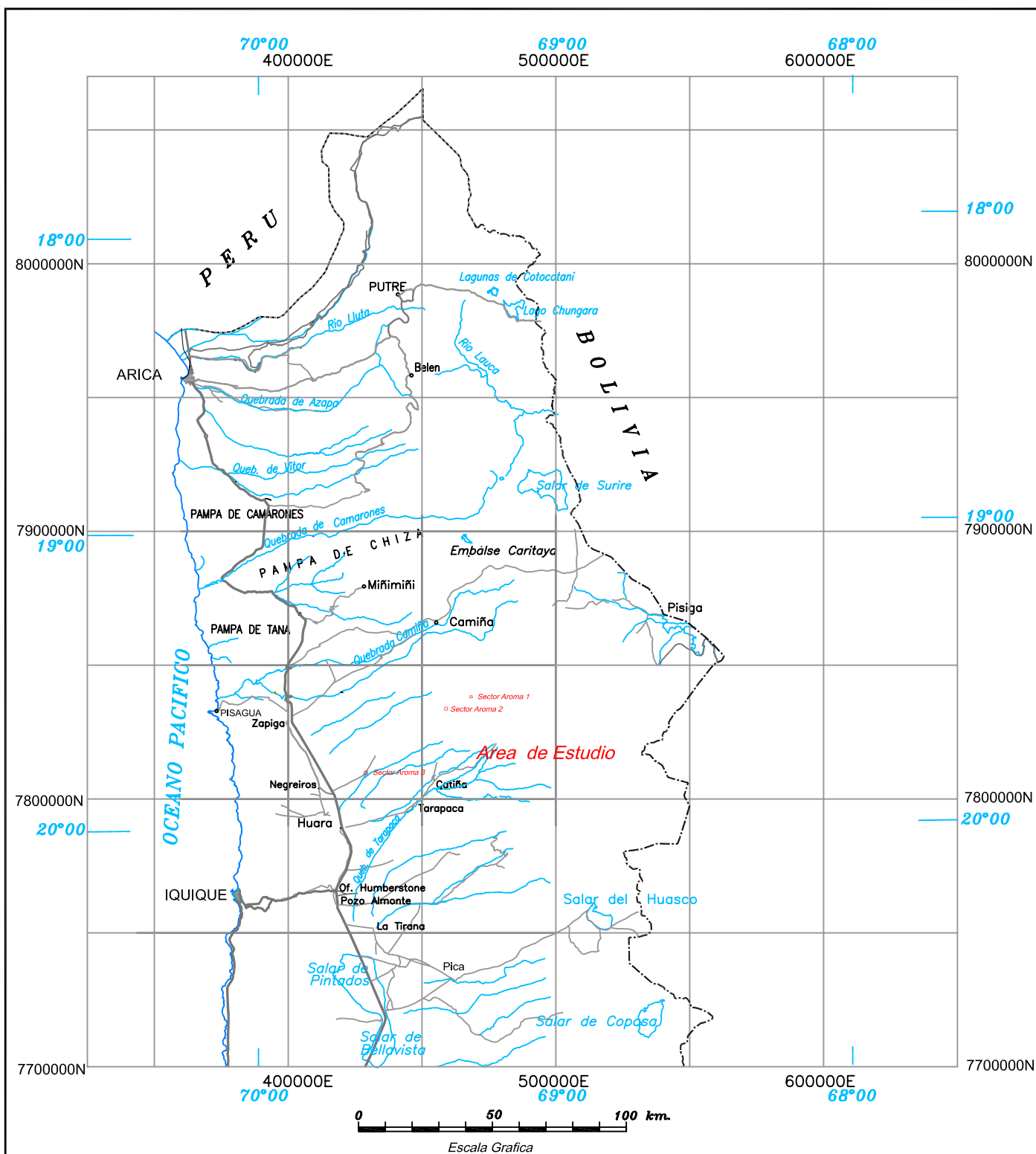
Se asume que la definición del valor de las resistividades y espesores de cada dominio identificado, son representativas de cada unidad pero pueden fluctuar entre un 10 – 20 % sin perder validez, dado el error intrínseco del método.

Resulta importante mencionar que se ha elegido un modelo simplificado en cuanto al número de capas de la inversión, procurando un RMS inferior a 5% en el ajuste de la curva a los datos de cada curva de resistividad. Manteniendo el mismo valor de errores, pudo haberse trazado un mayor número de capas, los que para los objetivos del proyecto no aportan mayor información, sumado al importante contraste de conductividades entre unidades, lo que permite que el modelo simplificado con 2 -3 capas sea válido, confiable y satisfactorio.

Desde el punto de vista hidrogeológico se puede concluir que el sector 1 se comporta como un relleno sedimentario sobre un basamento impermeable, donde es posible determinar la sección del acuífero que concentra la totalidad del agua subterránea. Sin embargo en los sectores 2 y 3 la situación es diferente, ya que al acuífero somero que se ha estudiado no lo subyace un basamento impermeable, sino más bien rocas, posiblemente de origen volcánico, que muestran grandes variaciones en su permeabilidad y que pueden comportarse como acuíferos más profundos.

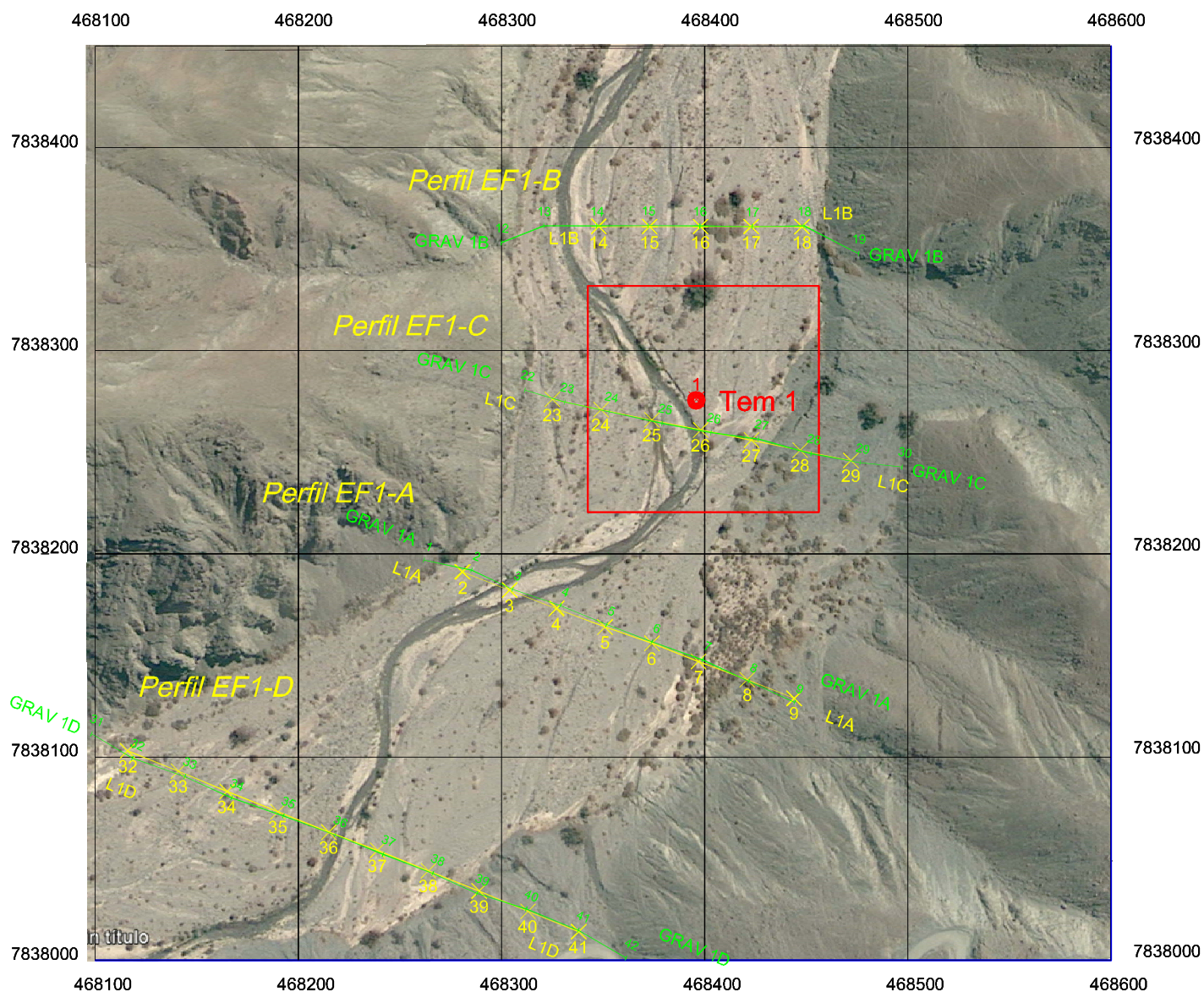
GEODATOS SAIC

Santiago, Noviembre 2013



AMPHOS 21
 SECTOR QUEBRADA AROMA
 I REGIÓN DE TARAPACÁ, CHILE
 ESTUDIO GEOFÍSICO TEM, NANOTEM Y GRAVIMETRIA
 UBICACION GENERAL AREA DE ESTUDIO

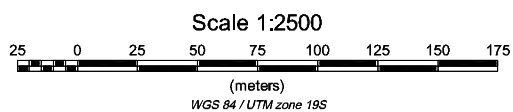
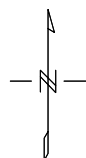
FIG. 1



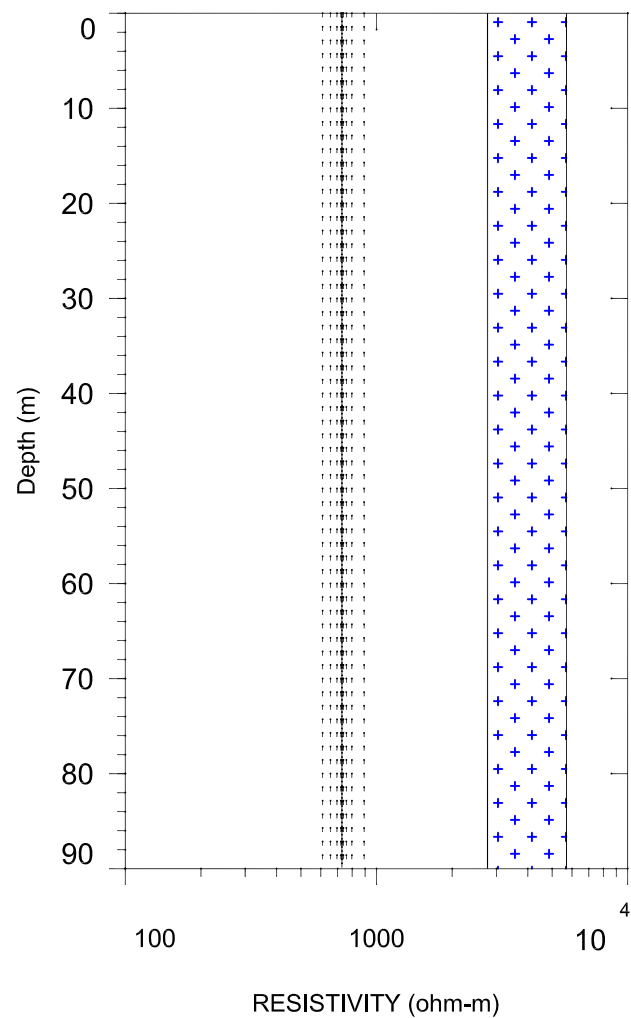
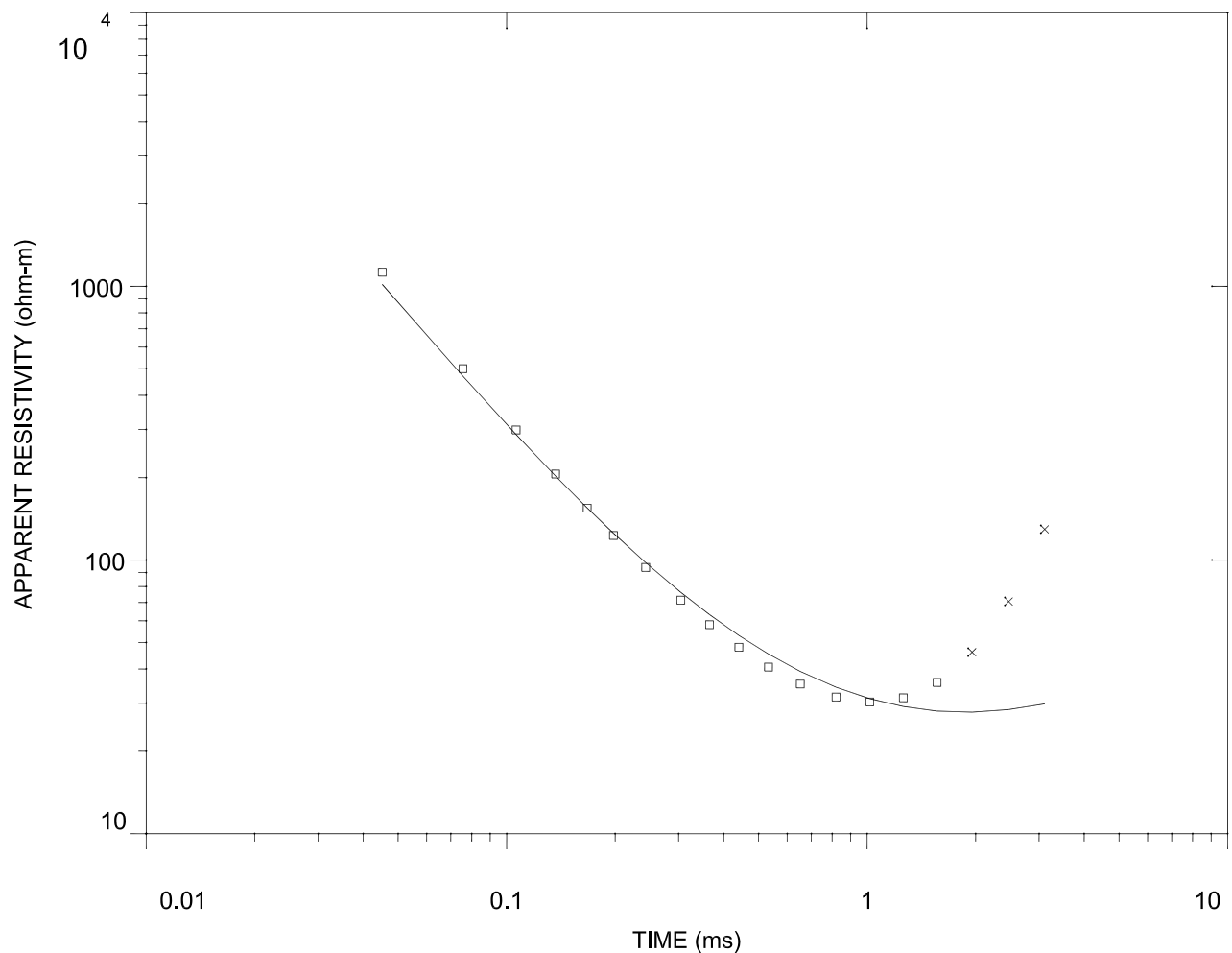
Estaciones Nanotem medidas = 30

Estaciones Tem medida = 1

Estaciones Gravimétricas medidas = 38



AMPHOS 21		
SECTOR QUEBRADA AROMA 1 IQUIQUE - I REGION		
ESTUDIO GEOFISICO DE GRAVIMETRIA-NANOTEM - TEM		
UBICACION DE PERFILES GEOFISICOS SOBRE IMAGEN GOOGLE EARTH		
GEODATOS SAIC	FIG. 2_1	07_NOVIEMBRE_2013



LEYENDA



Roca basal

AMPHOS-DGA Geodatos

Data Set: T1-1-8

Date: 13-11-04

Equipment: ZONGE GDP12/16

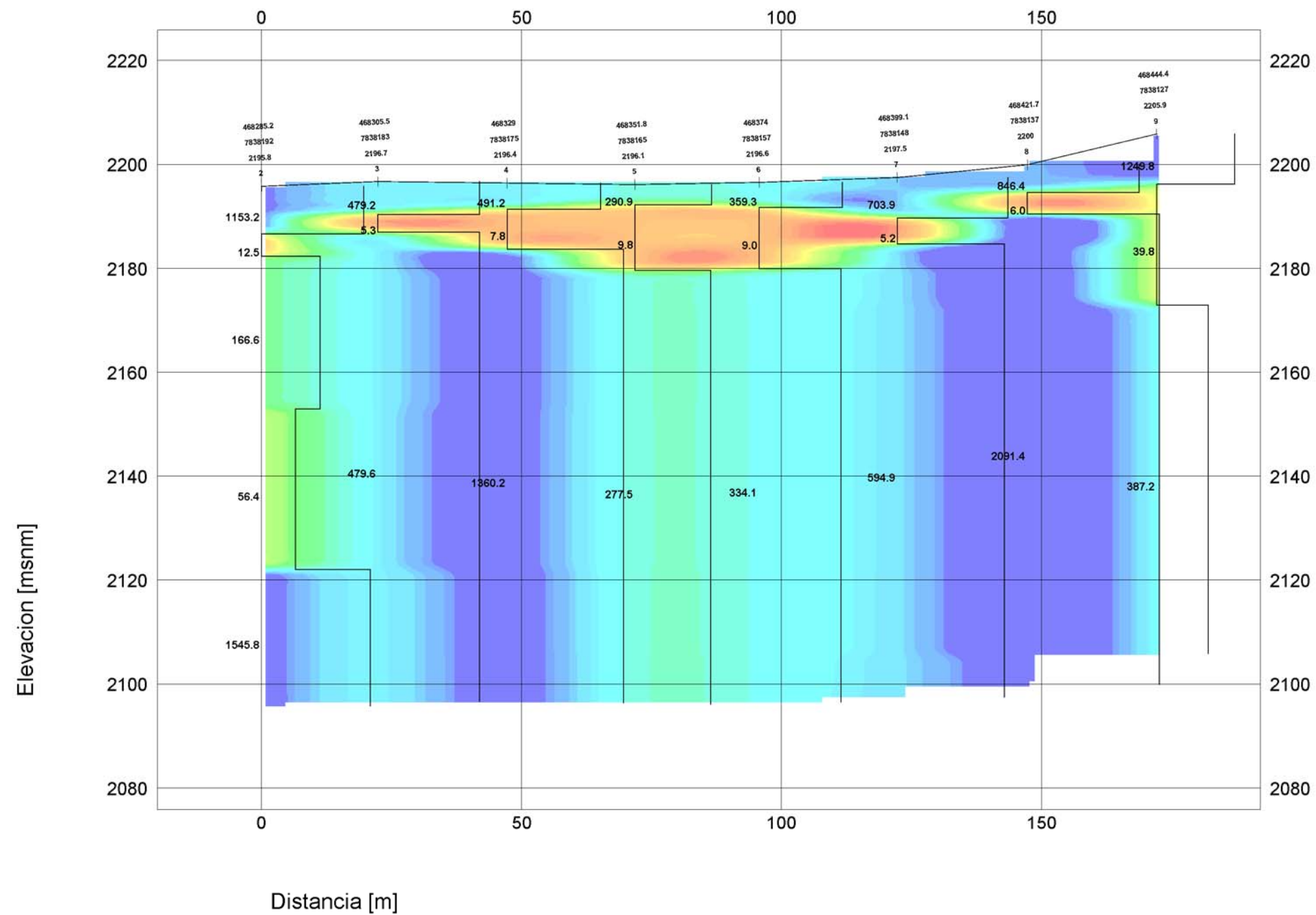
Sounding: T1

TEM QUEBRADA AROMA

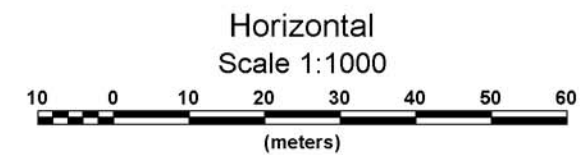
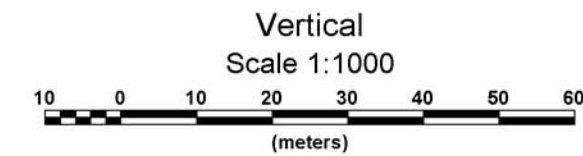
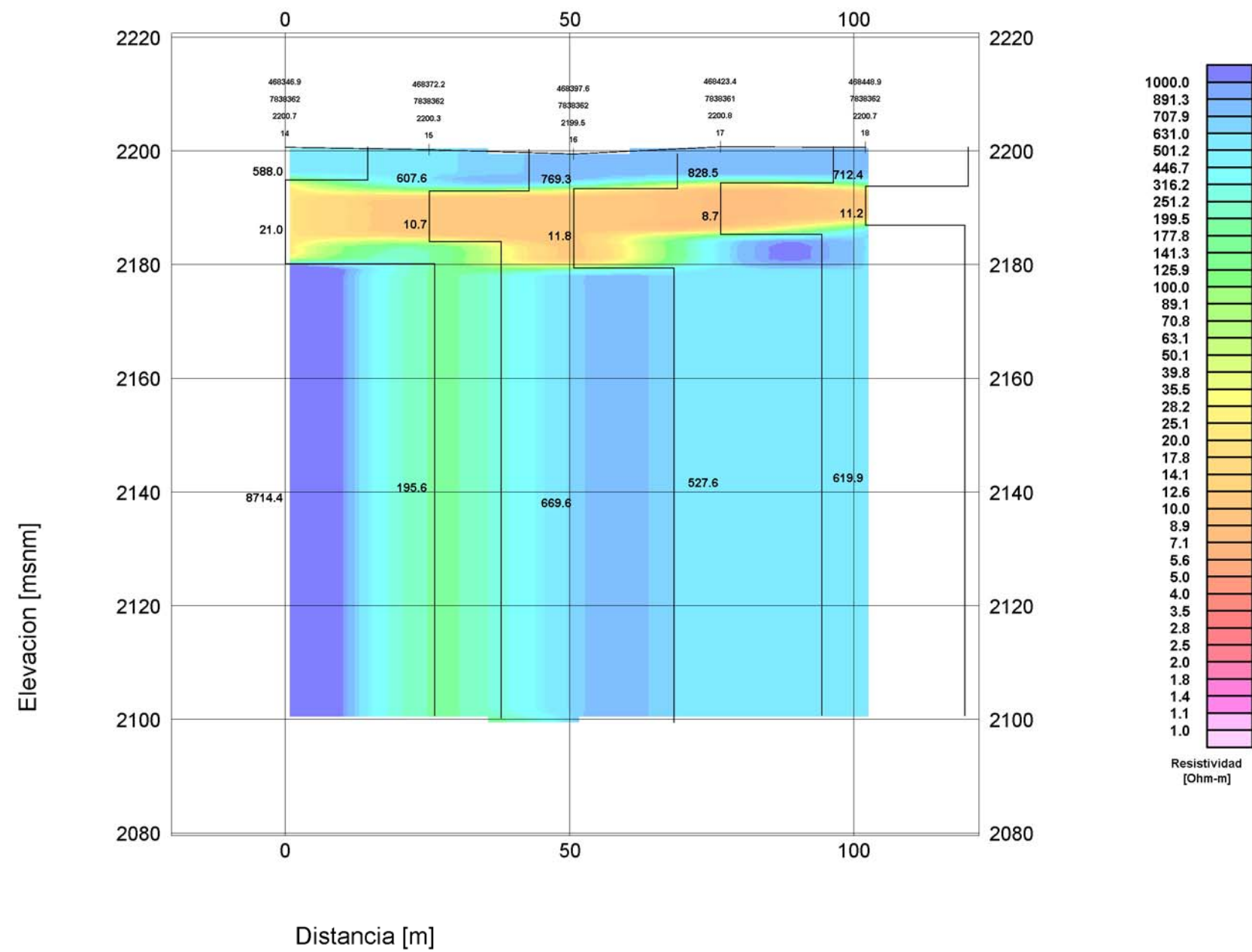
468396/7838276 WGS84 TEM

IQUIQUE - I REGION

FIG. I -T1 Interpretación Sondeo Tem 1



AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N1A (MODELO DE CAPAS)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-1A



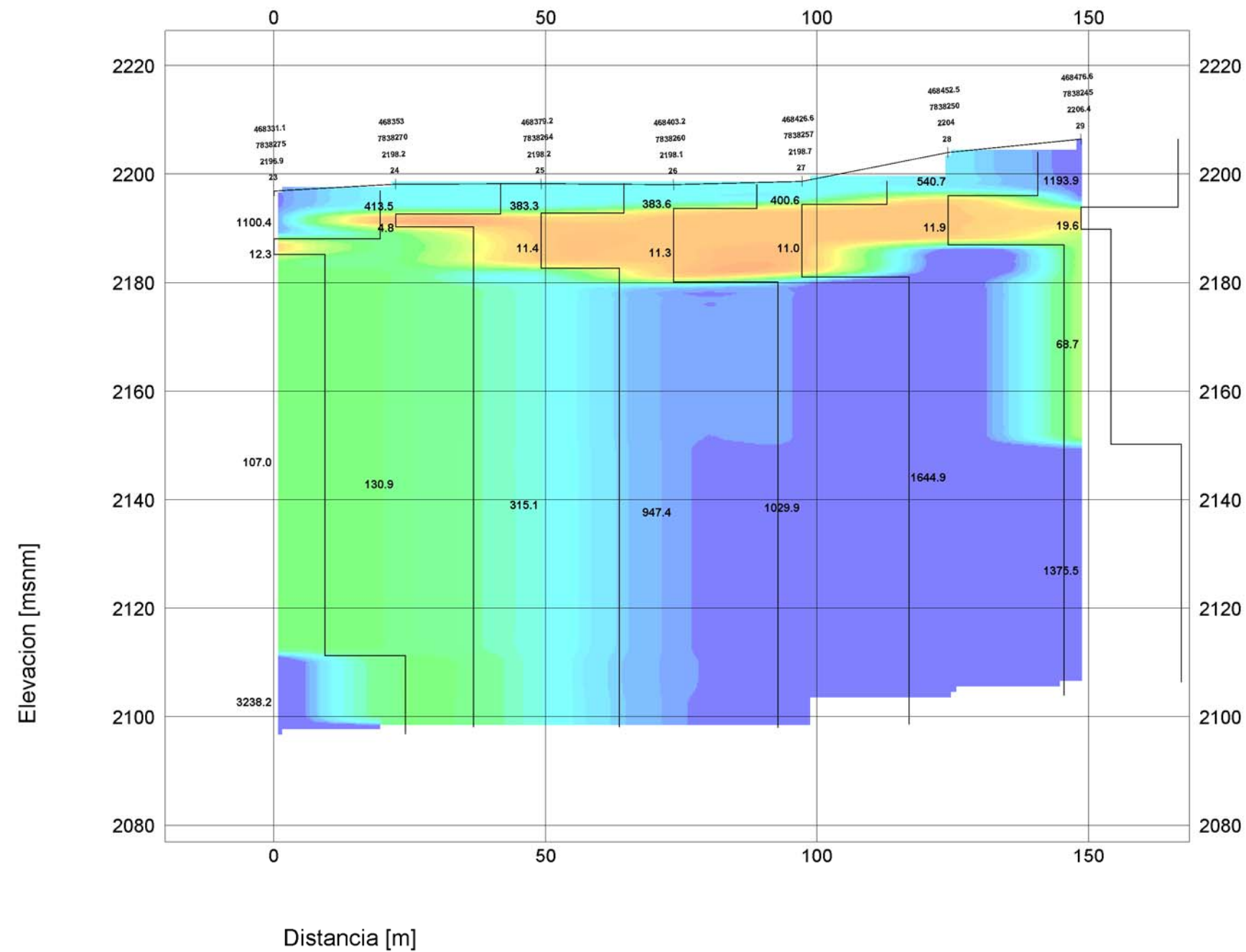
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

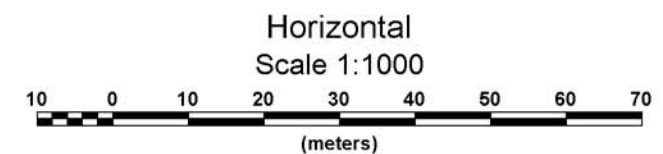
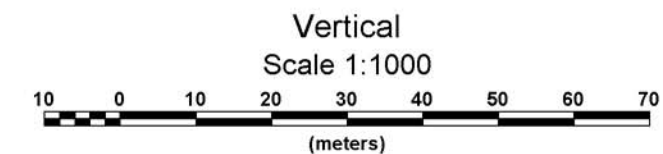
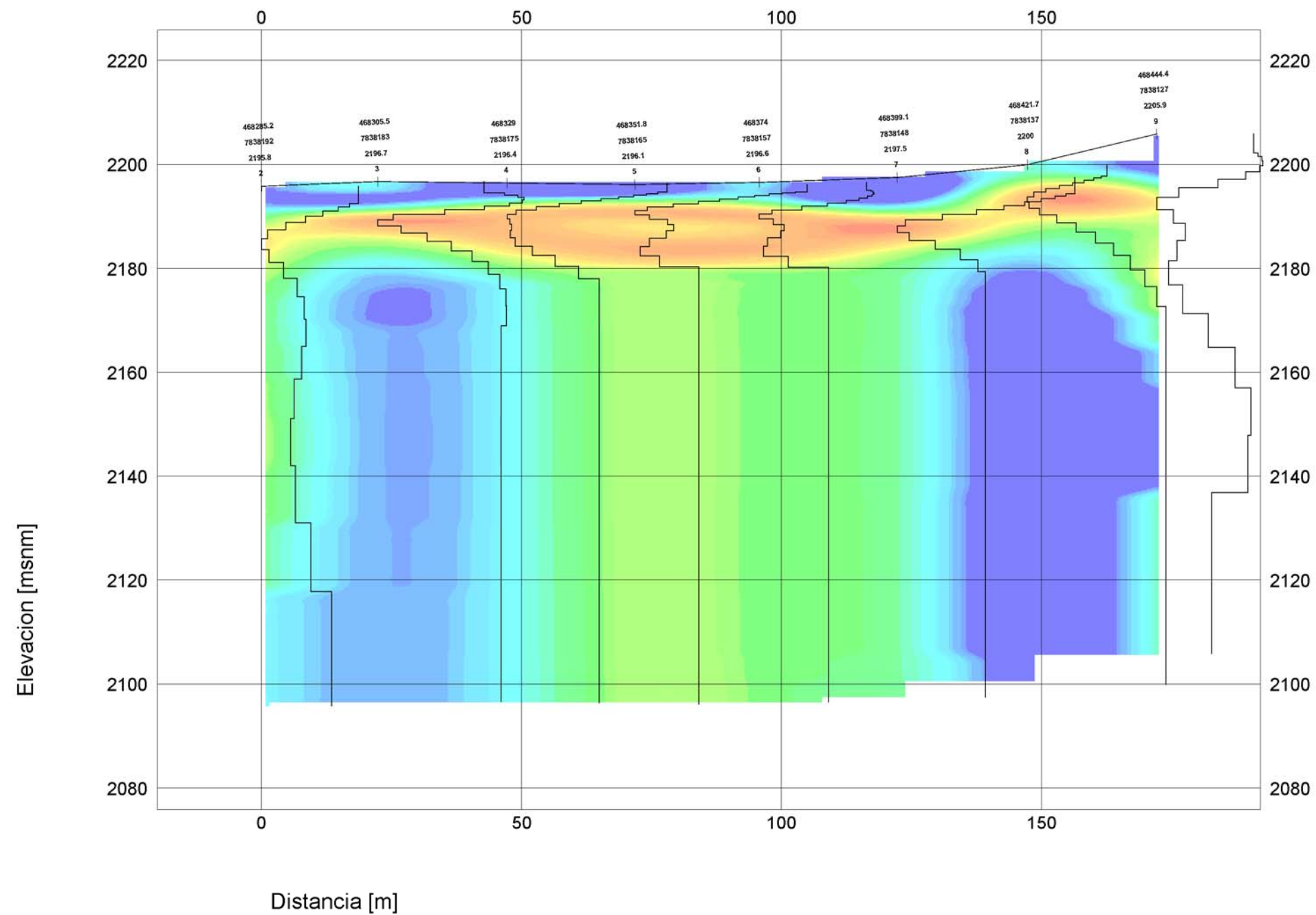
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N1B (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-1B



AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N1C (MODELO DE CAPAS)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-1C



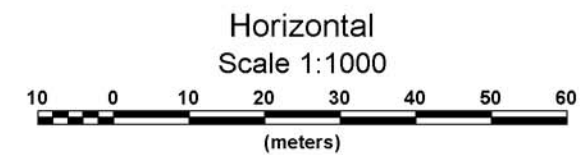
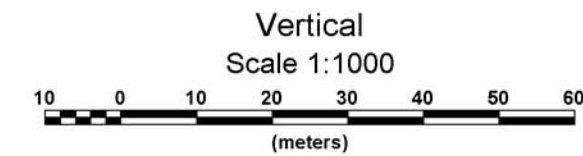
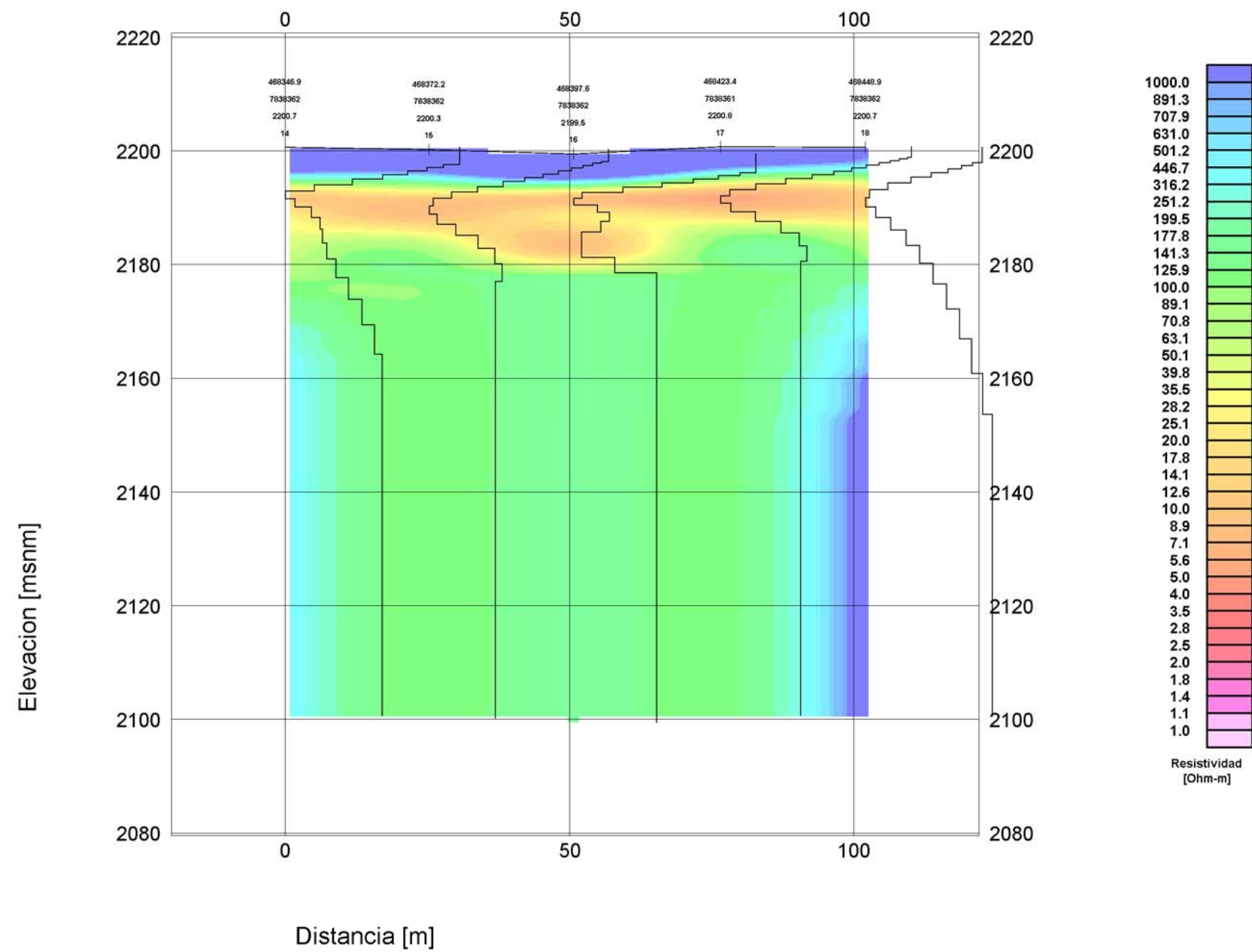
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N1A (SMOOTH MODEL)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-1As



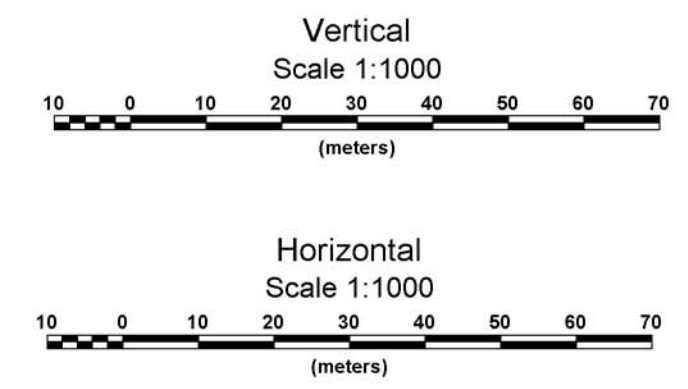
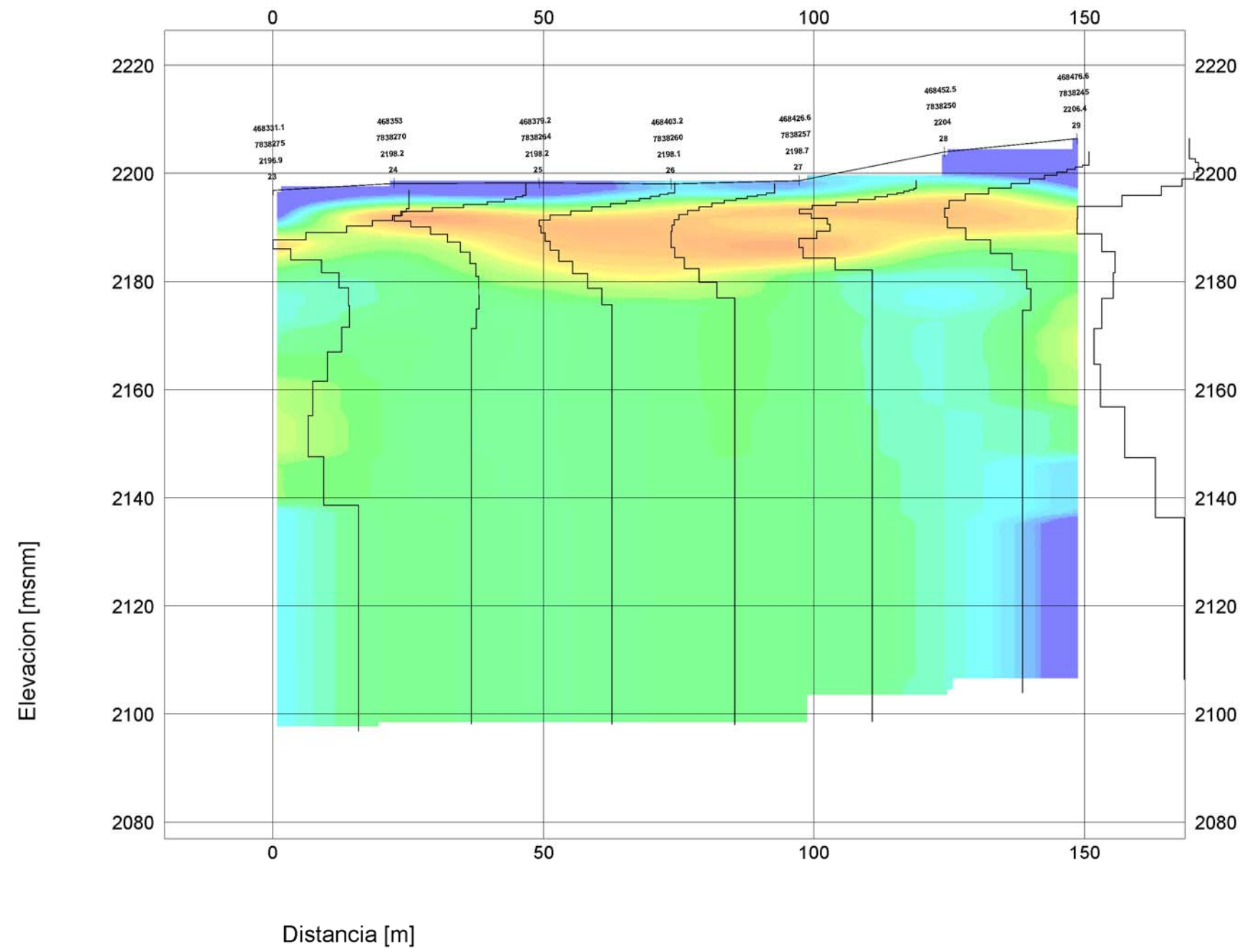
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1
IQUIQUE - I REGION

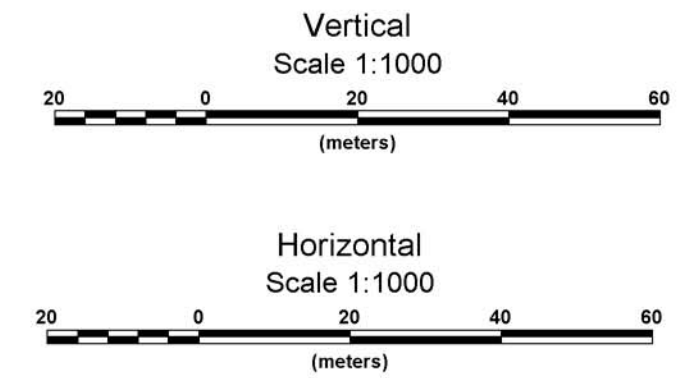
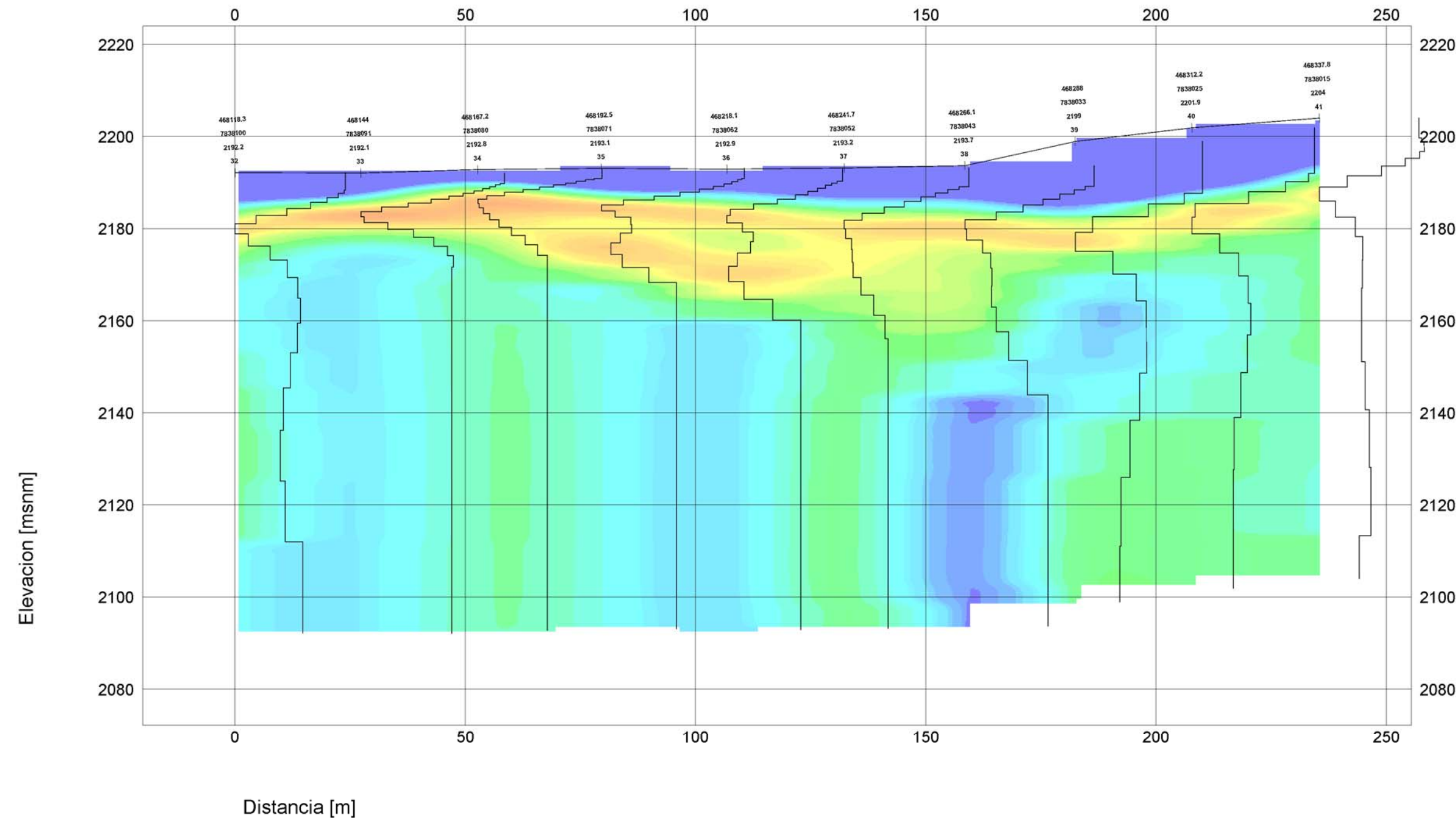
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N1B (SMOOTH MODEL)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-1Bs



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

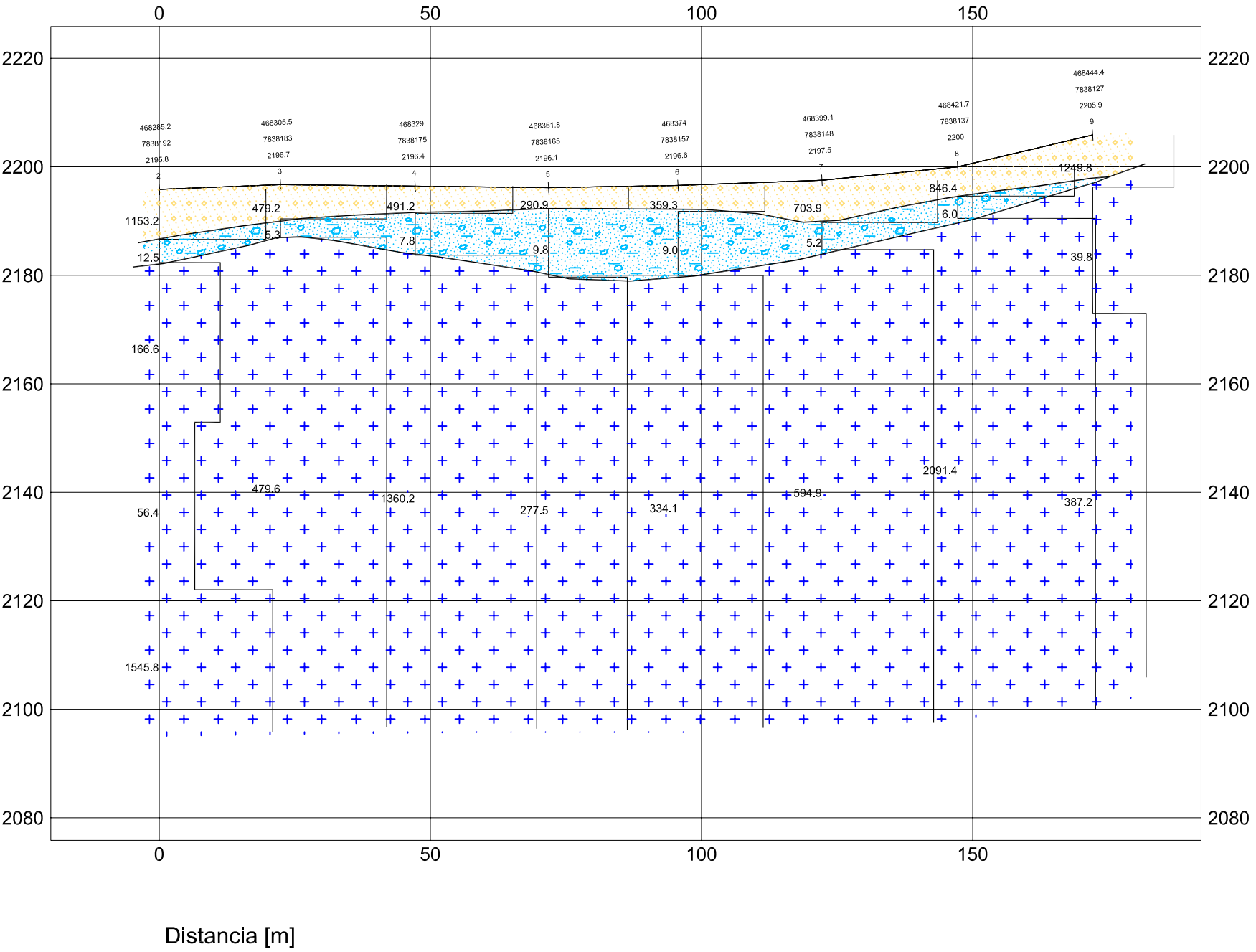
AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N1C (SMOOTH MODEL)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-1Cs



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

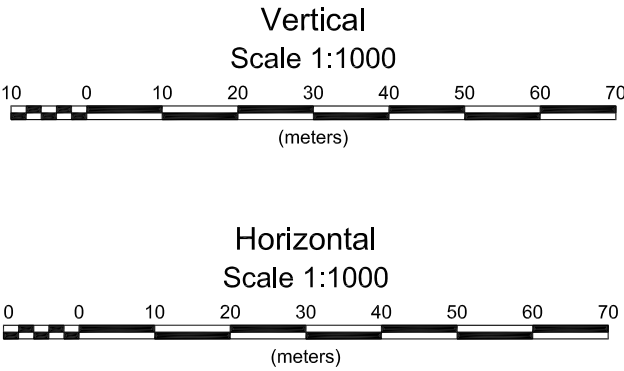
AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N1D (SMOOTH MODEL)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-1Ds

Elevacion [msnm]



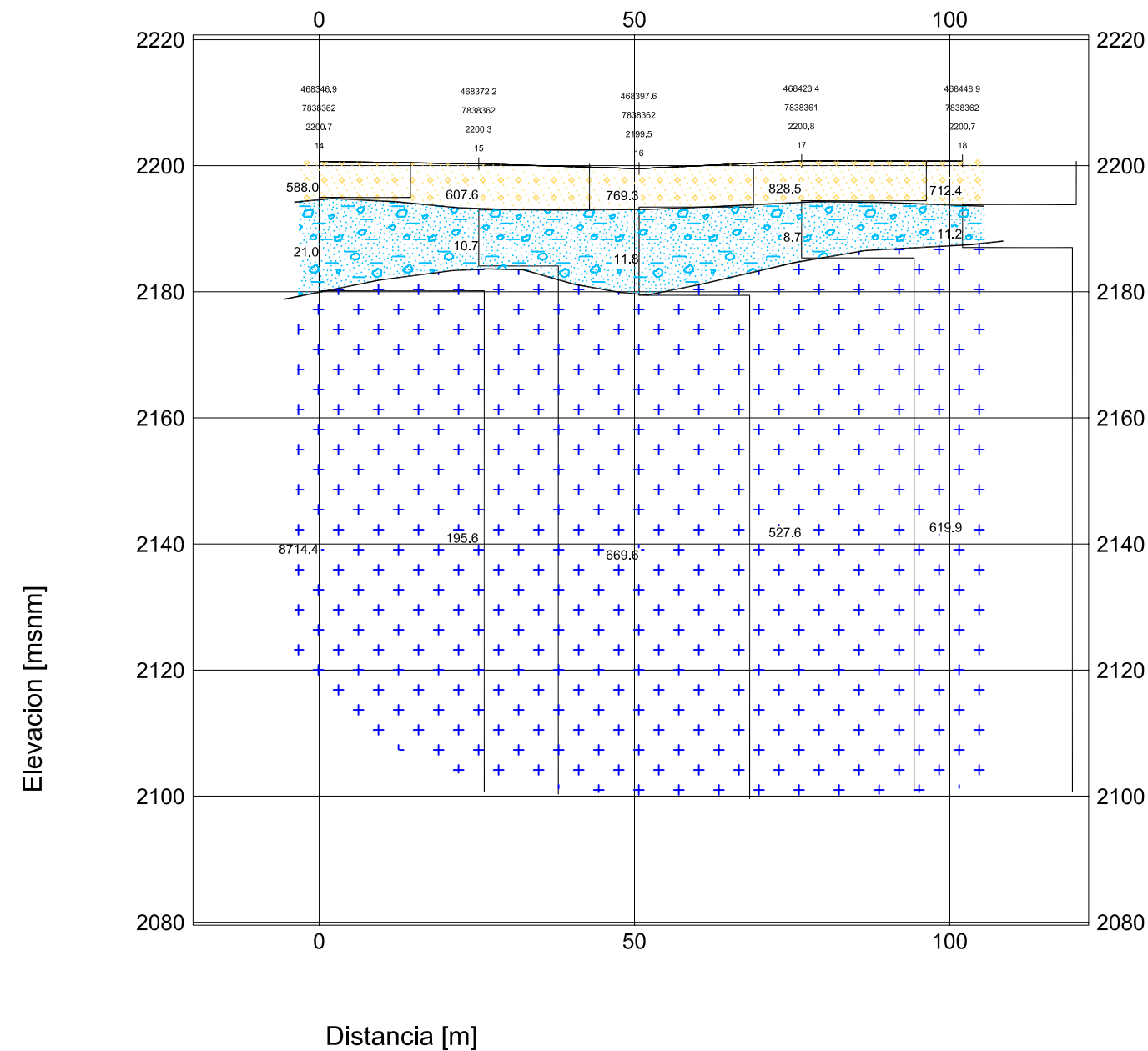
LEYENDA

- Sedimentos superficiales, no saturados
- Gravas, arenas y arcillas, posiblemente saturados
- Roca basal



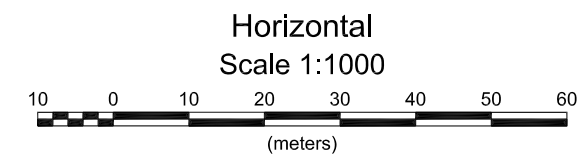
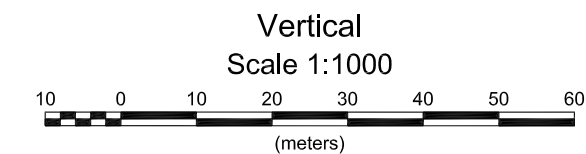
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE INTERPRETACION PERFIL N1A (MODELO DE CAPAS)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I - NT-1A



LEYENDA

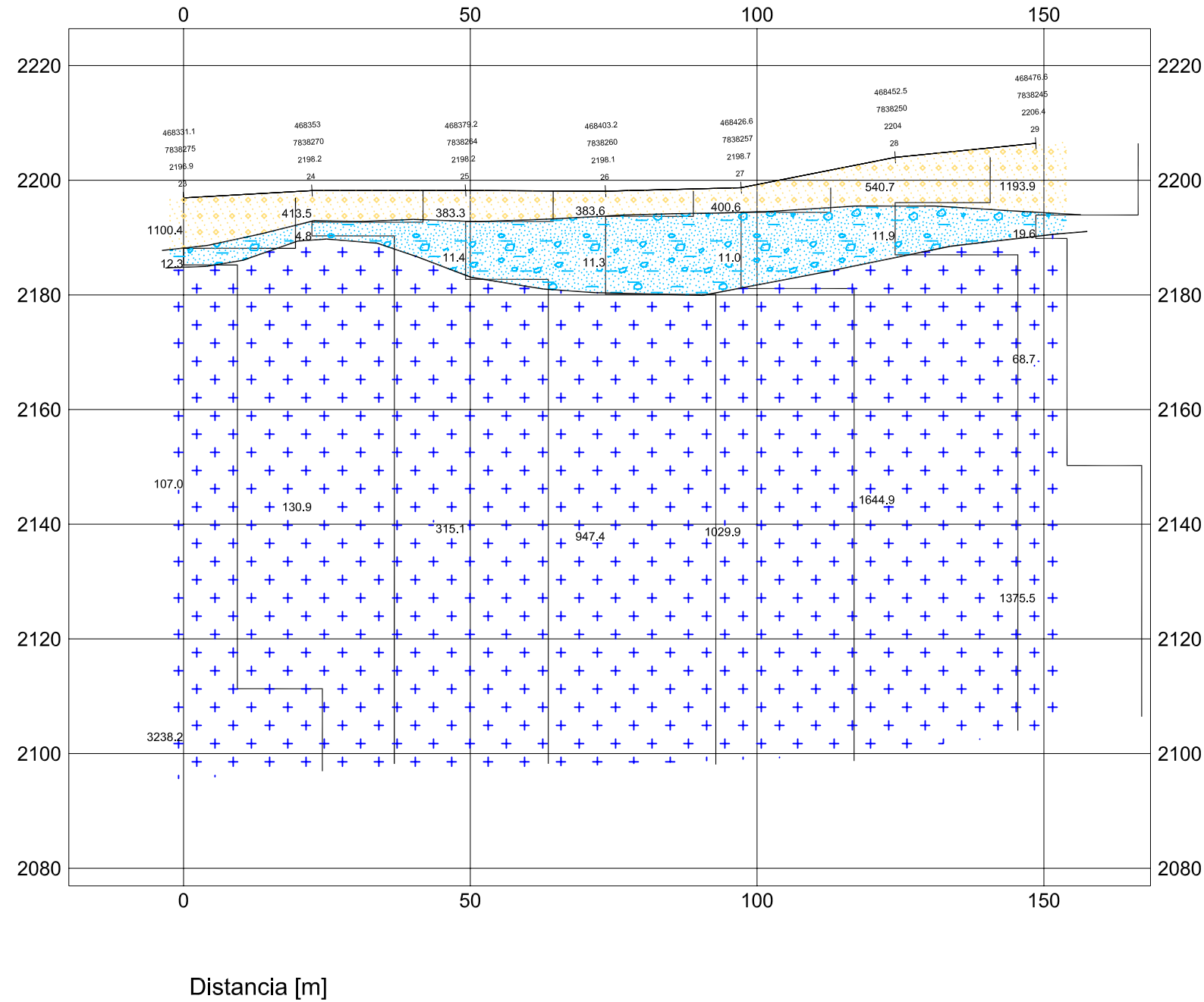
- Sedimentos superficiales, no saturados
- Gravas, arenas y arcillas, posiblemente saturados
- Roca basal



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE INTERPRETACION PERFIL N1B (MODELO DE CAPAS)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I-NT-1B

Elevation [msnm]



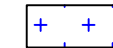
LEYENDA



Sedimentos superficiales, no saturados

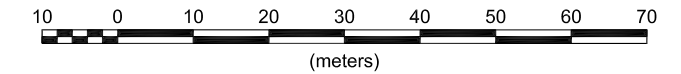


Gravas, arenas y arcillas, posiblemente saturados

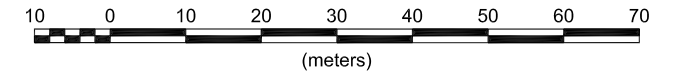


Roca basal

Vertical
Scale 1:1000



Horizontal
Scale 1:1000



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

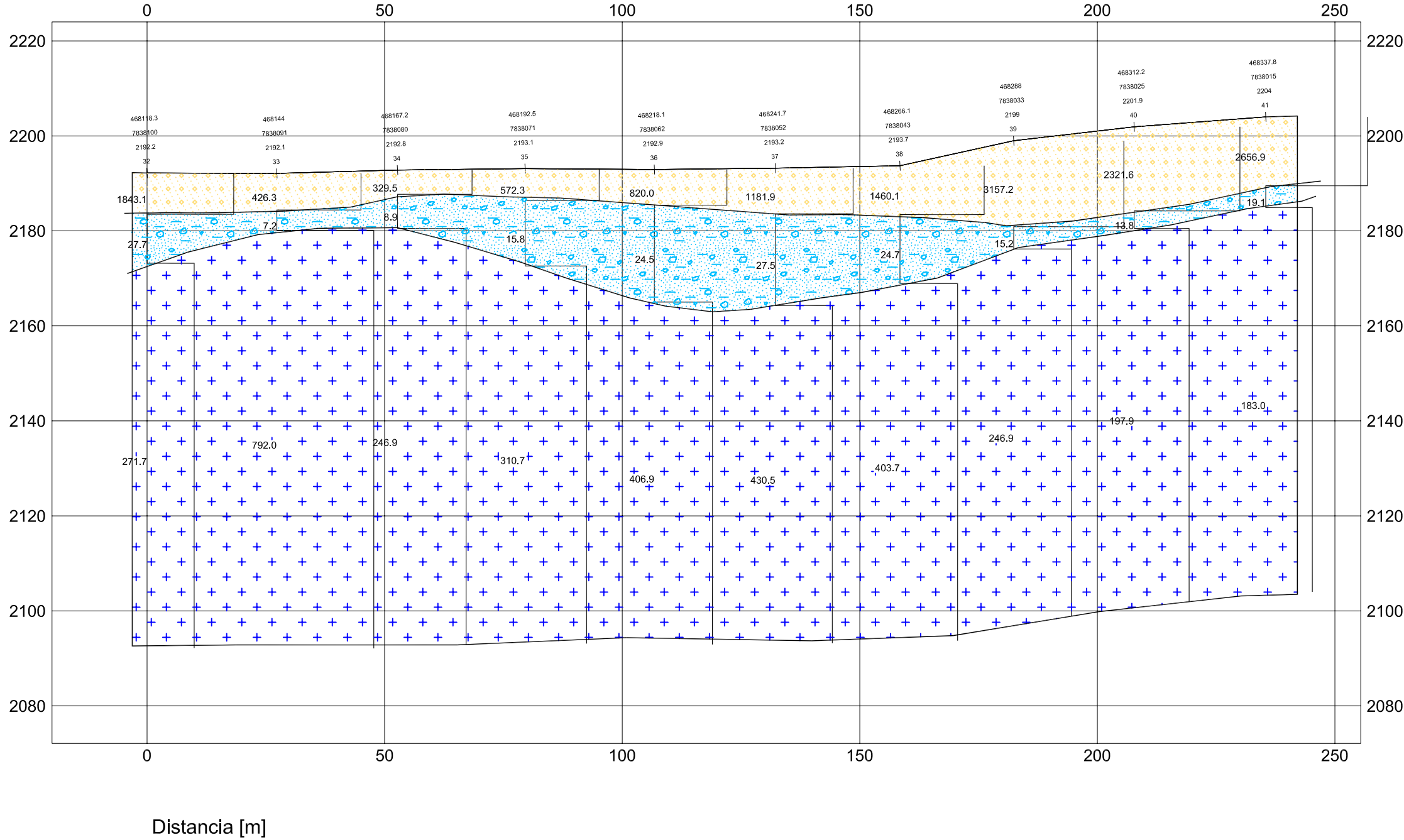
AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE INTERPRETACION
PERFIL N1C (MODELO DE CAPAS)

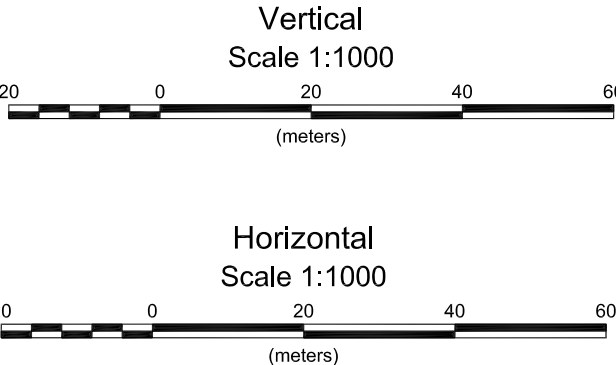
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I-NT-1C

Elevation [msnm]



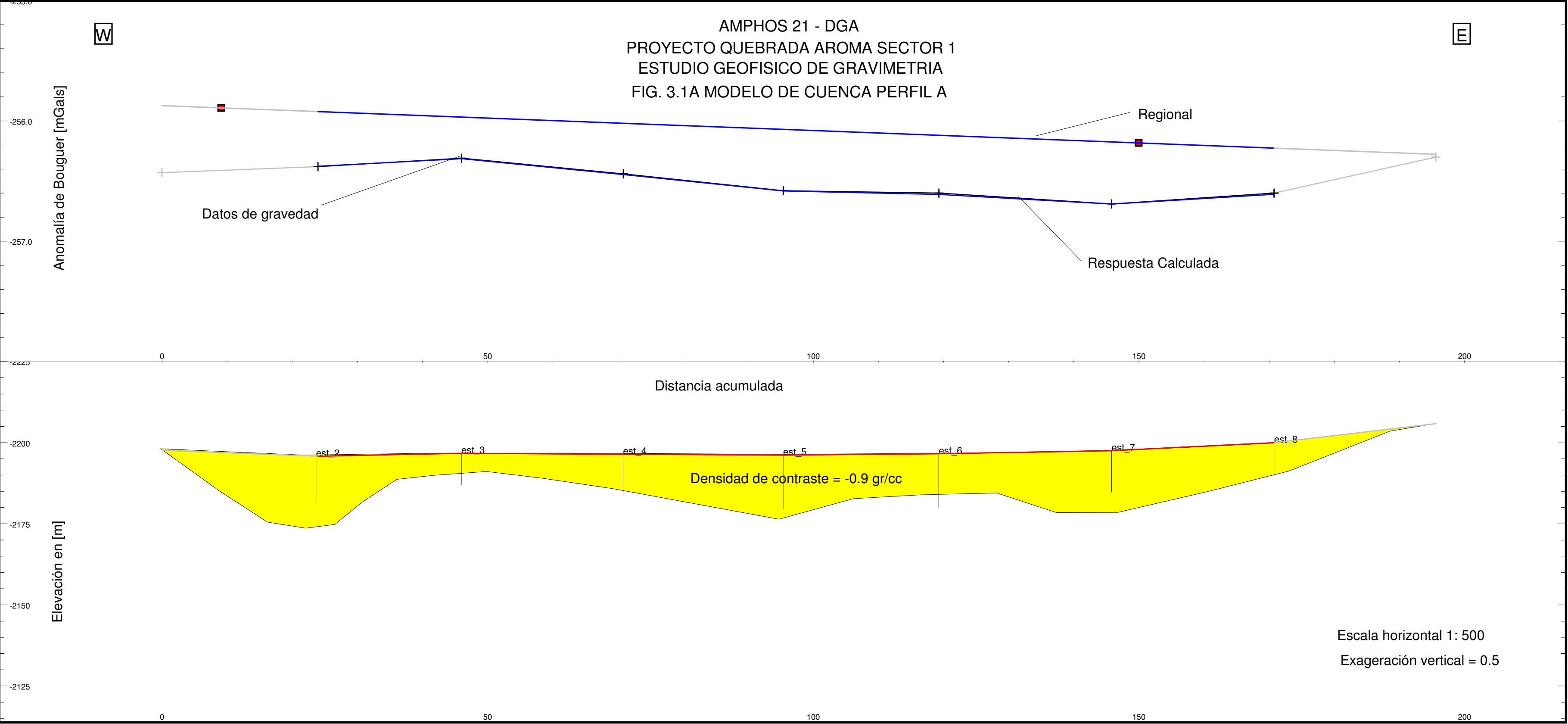
LEYENDA

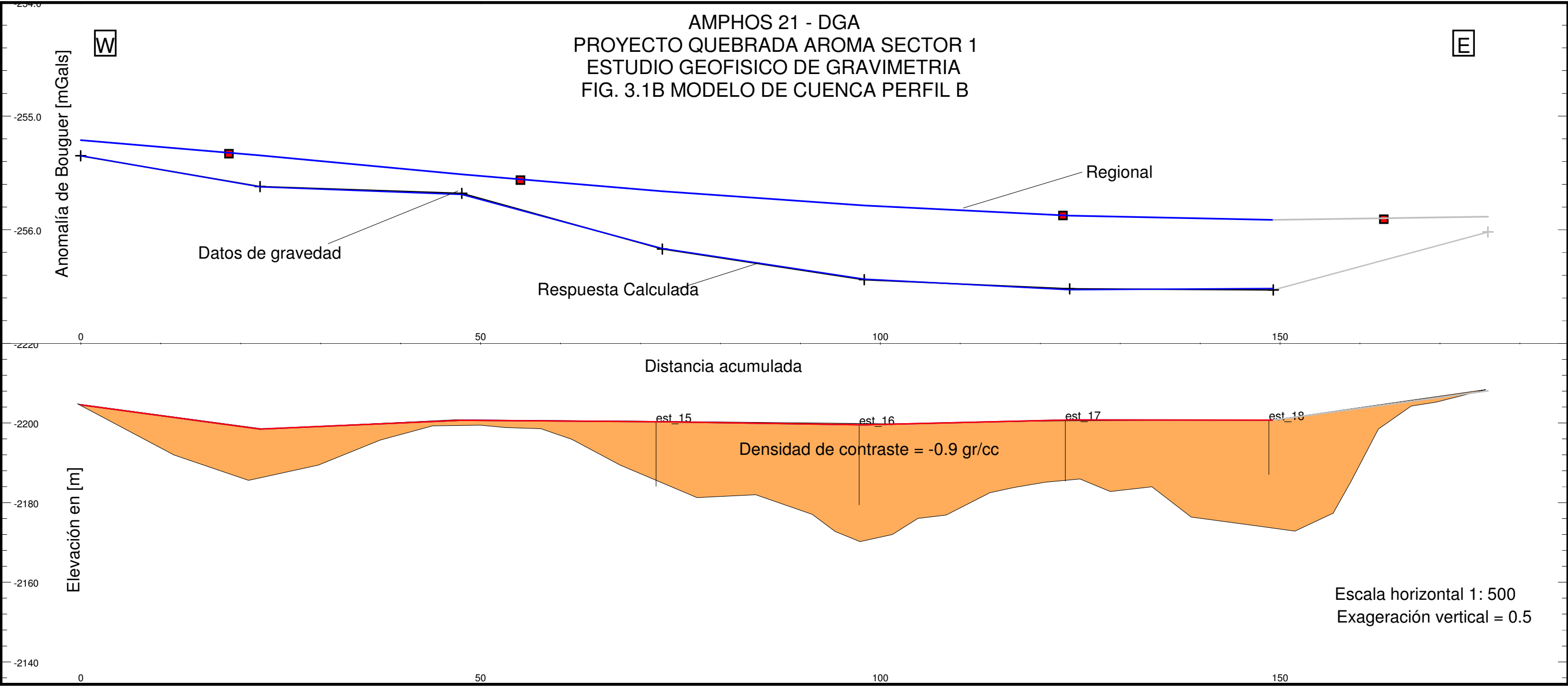
- Sedimentos superficiales, no saturados
- Gravas, arenas y arcillas, posiblemente saturados
- Roca basal

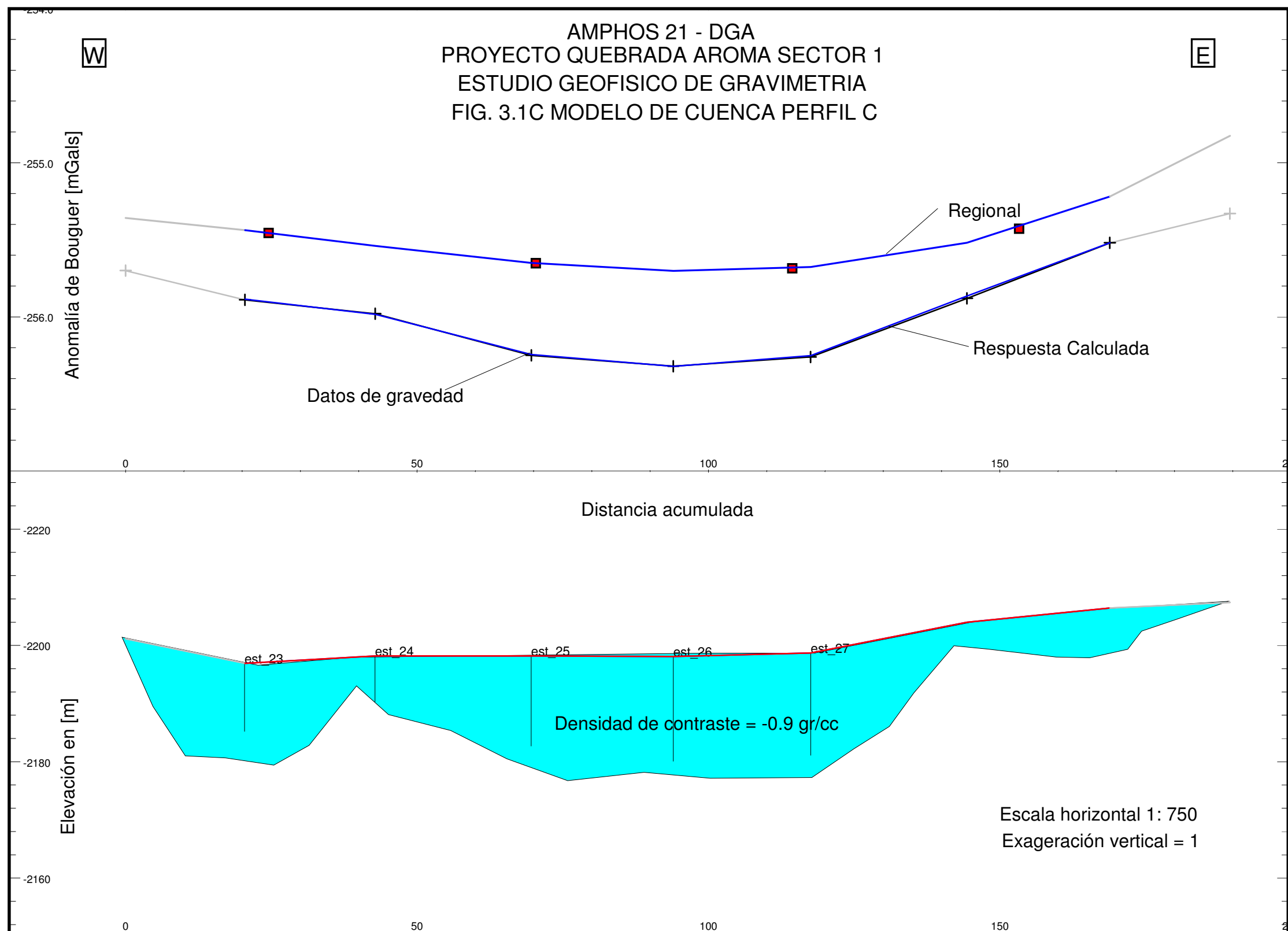


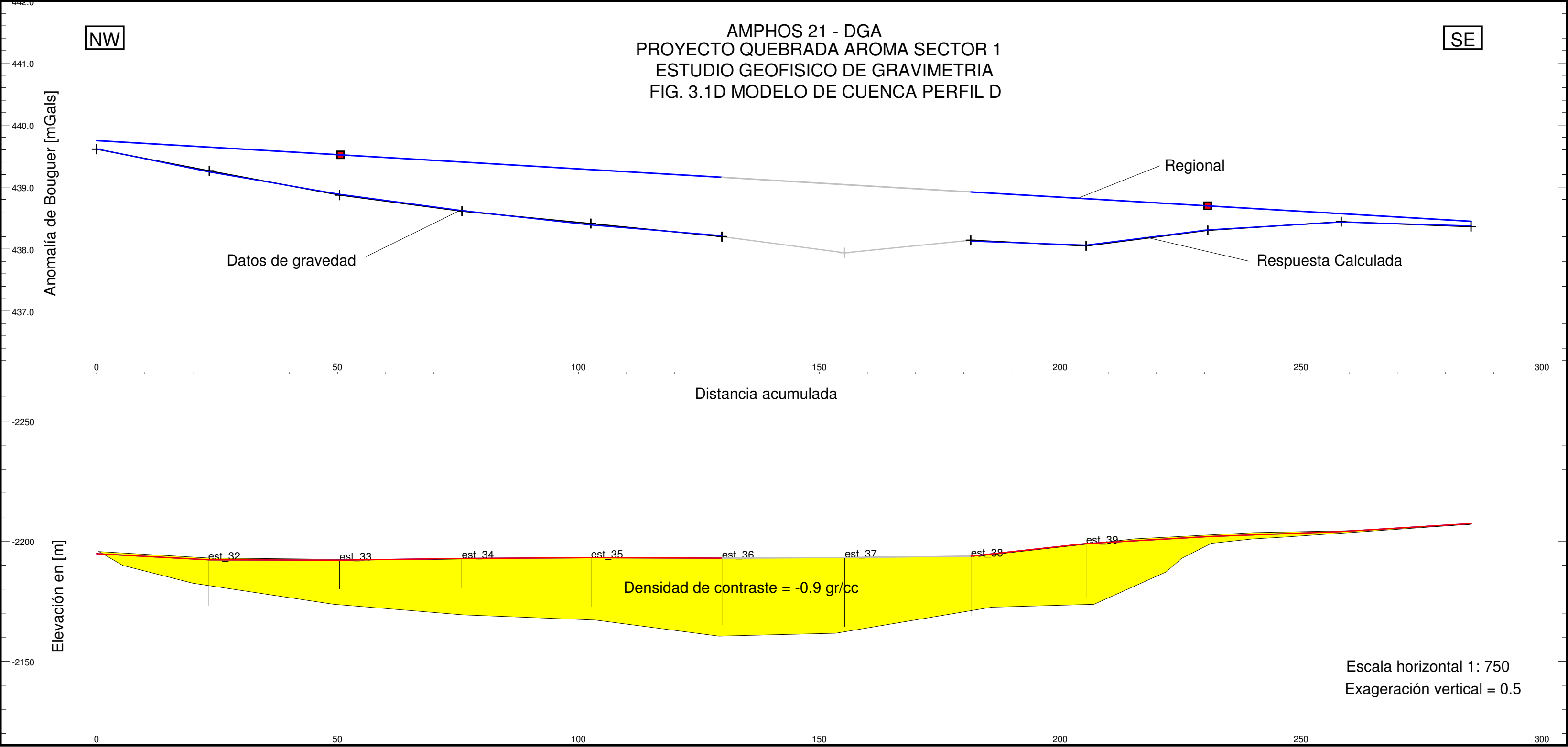
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

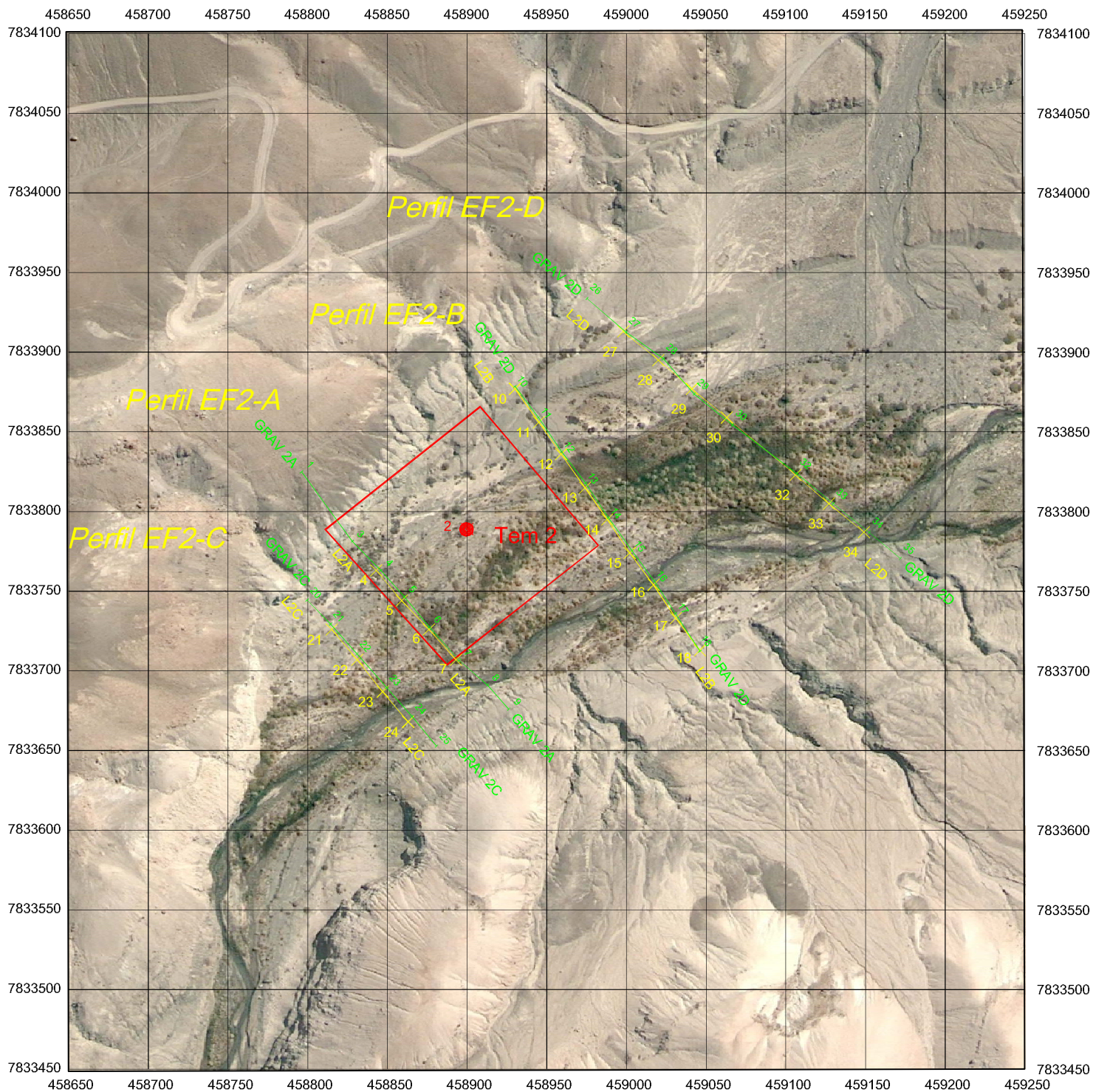
AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 1 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE INTERPRETACION PERFIL N1D (MODELO DE CAPAS)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I - NT-1D



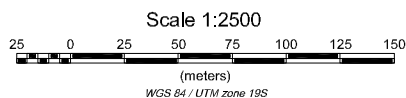
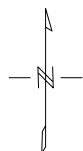








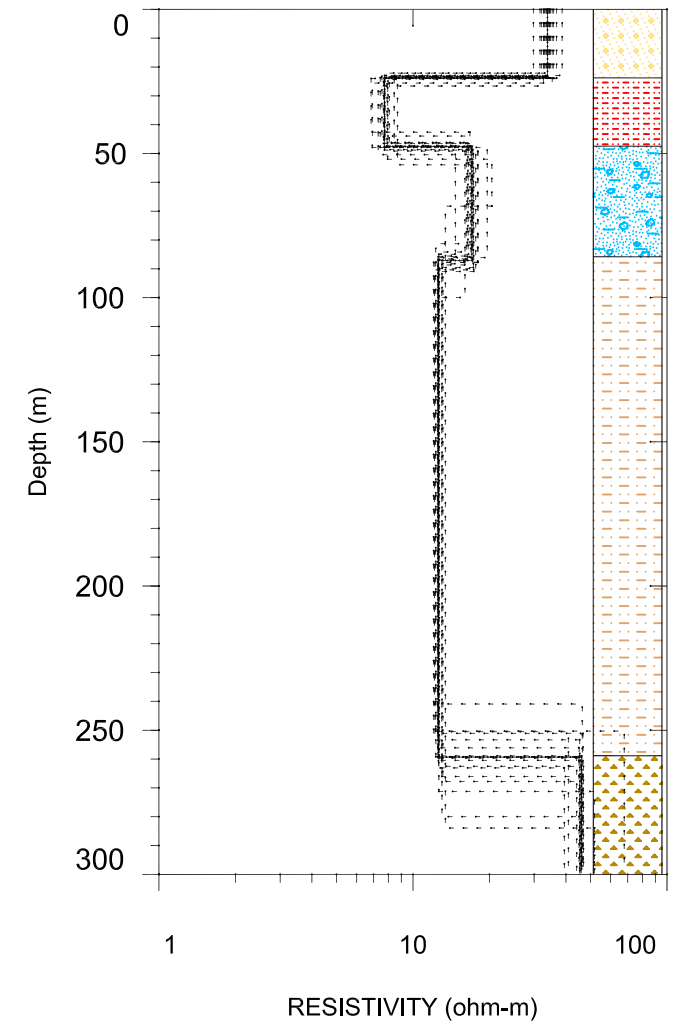
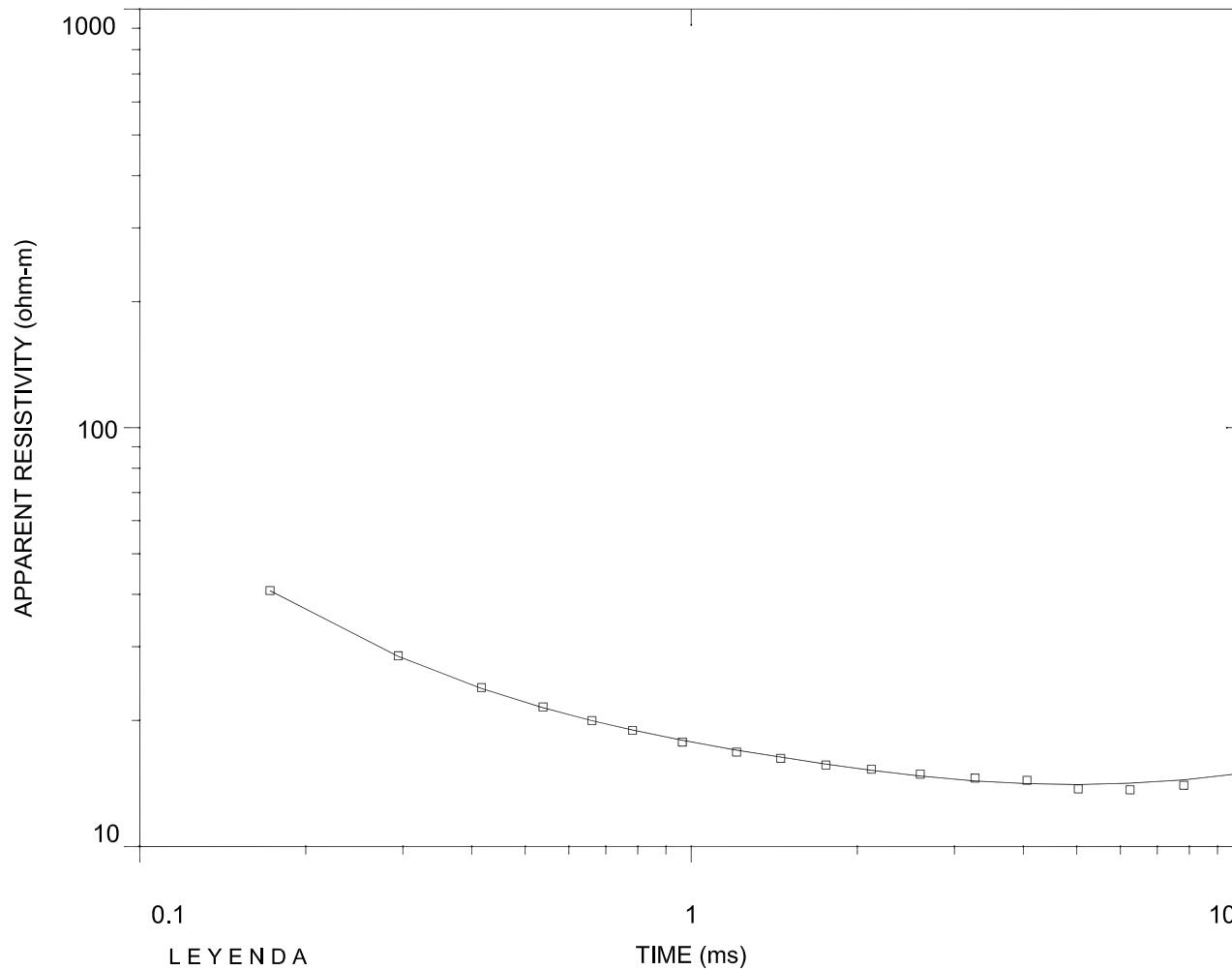
Estaciones Nanotem medidas = 24
 Estacion Tem medida 1 de 1
 Estaciones Gravimétricas medidas = 32








AMPHOS 21

ESTUDIO GRAVIMETRIA, NANOTEM Y TEM
 SECTOR QUEBRADA AROMA IQUIQUE I REGION
 PLANTA PERFILES AROMA 2

GEODATOS S.A.I.C. FIG.2_2 11_NOVIEMBRE_2013



LEYENDA

-  Sedimentos superficiales, no saturados
-  Sedimentos finos arcillosos
-  Gravas y arenas saturadas
-  Arenas y limos saturados
-  Sedimentos compactos y/o roca alterada

AMPHOS-DGA Geodatos

Data Set: T2-2-1

Date: 13-11-06

Equipment: ZONGE GDP12/16

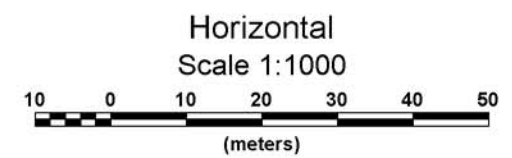
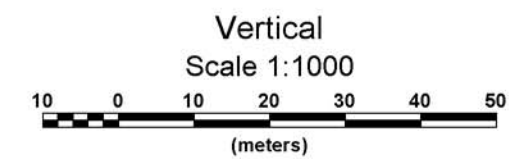
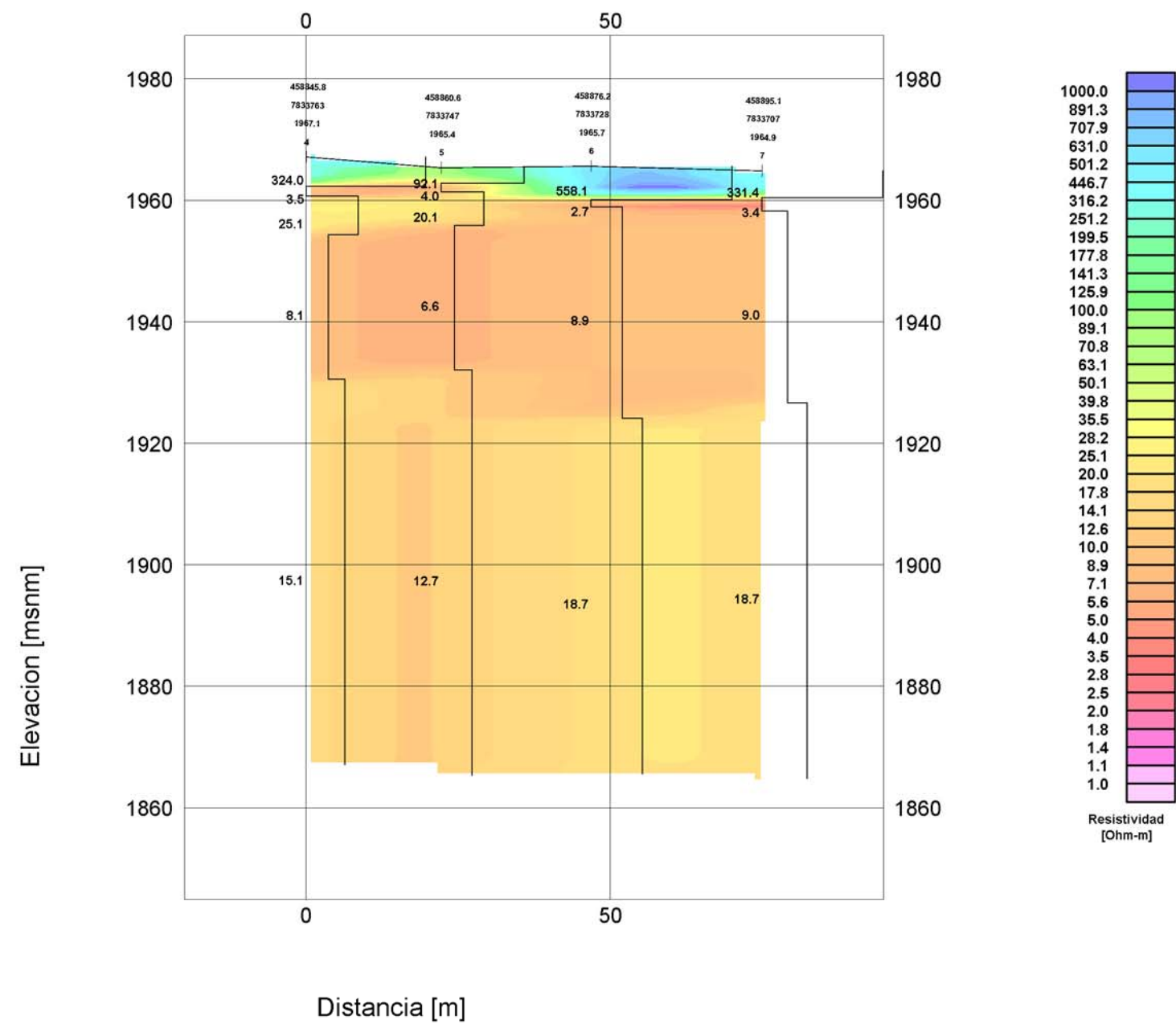
Sounding: 2

TEM QUEBRADA AROMA Sector2

458900/7833789 WGS84 TEM

IQUIQUE-I REGION

FIG. I -T2 Interpretación Sondeo Tem 2



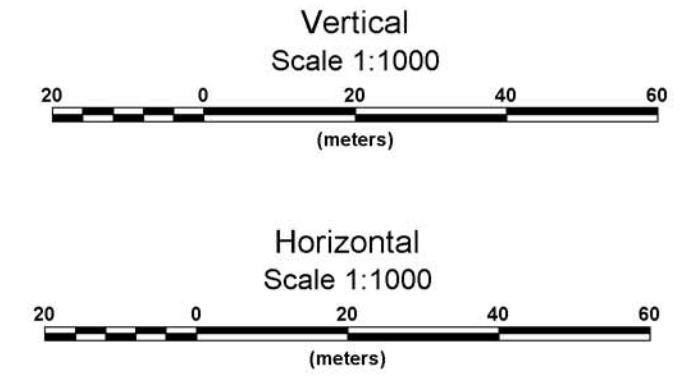
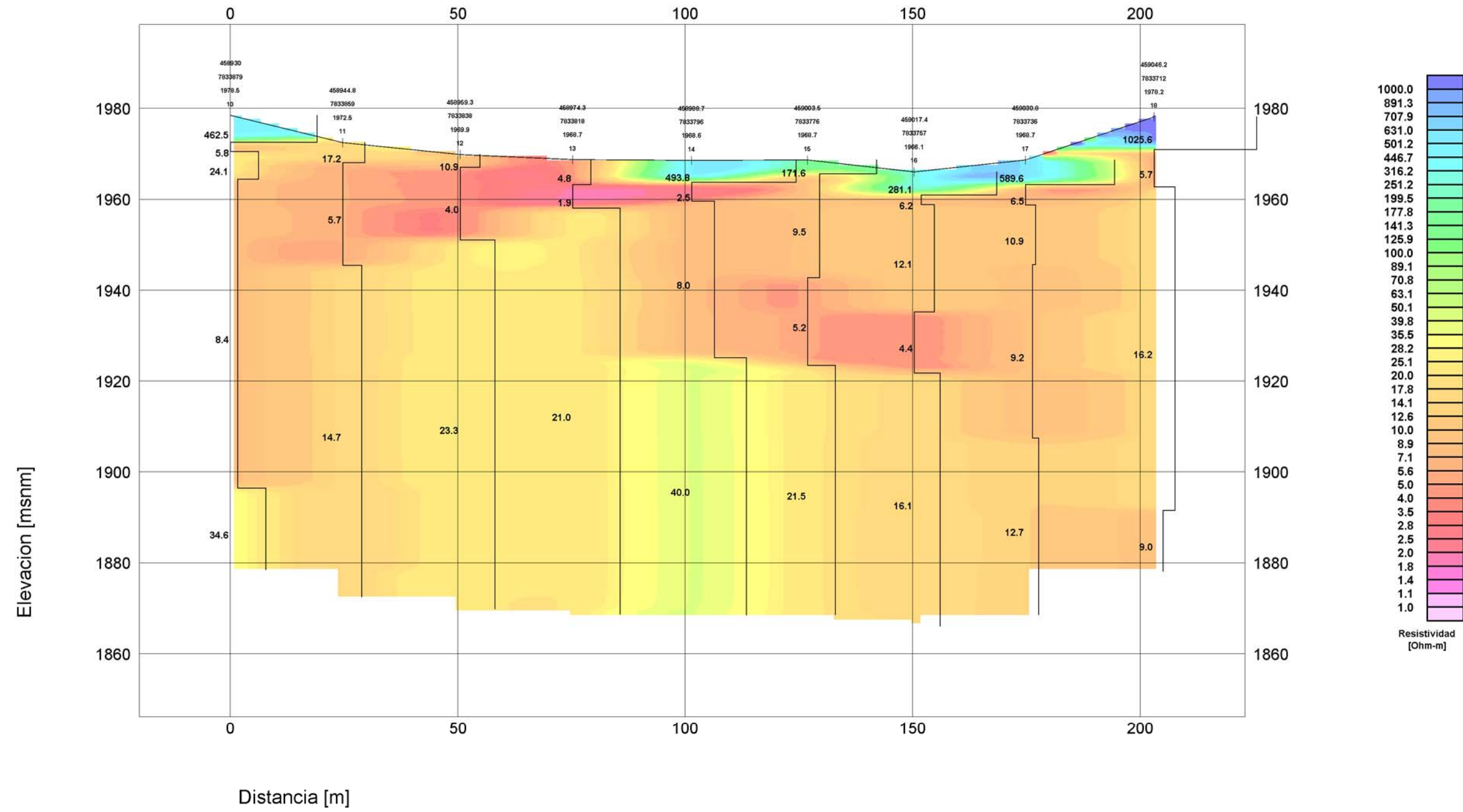
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2
IQUIQUE - I REGION

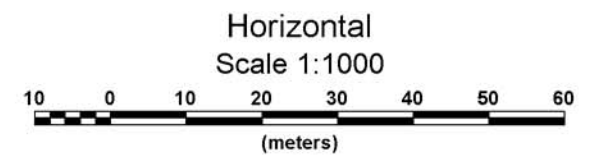
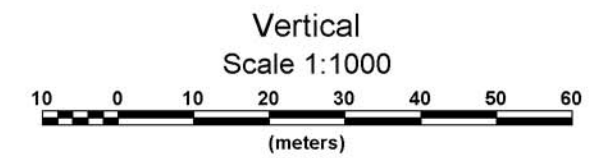
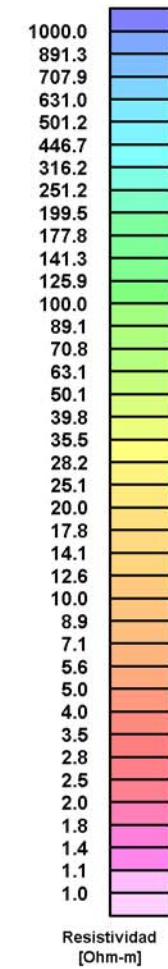
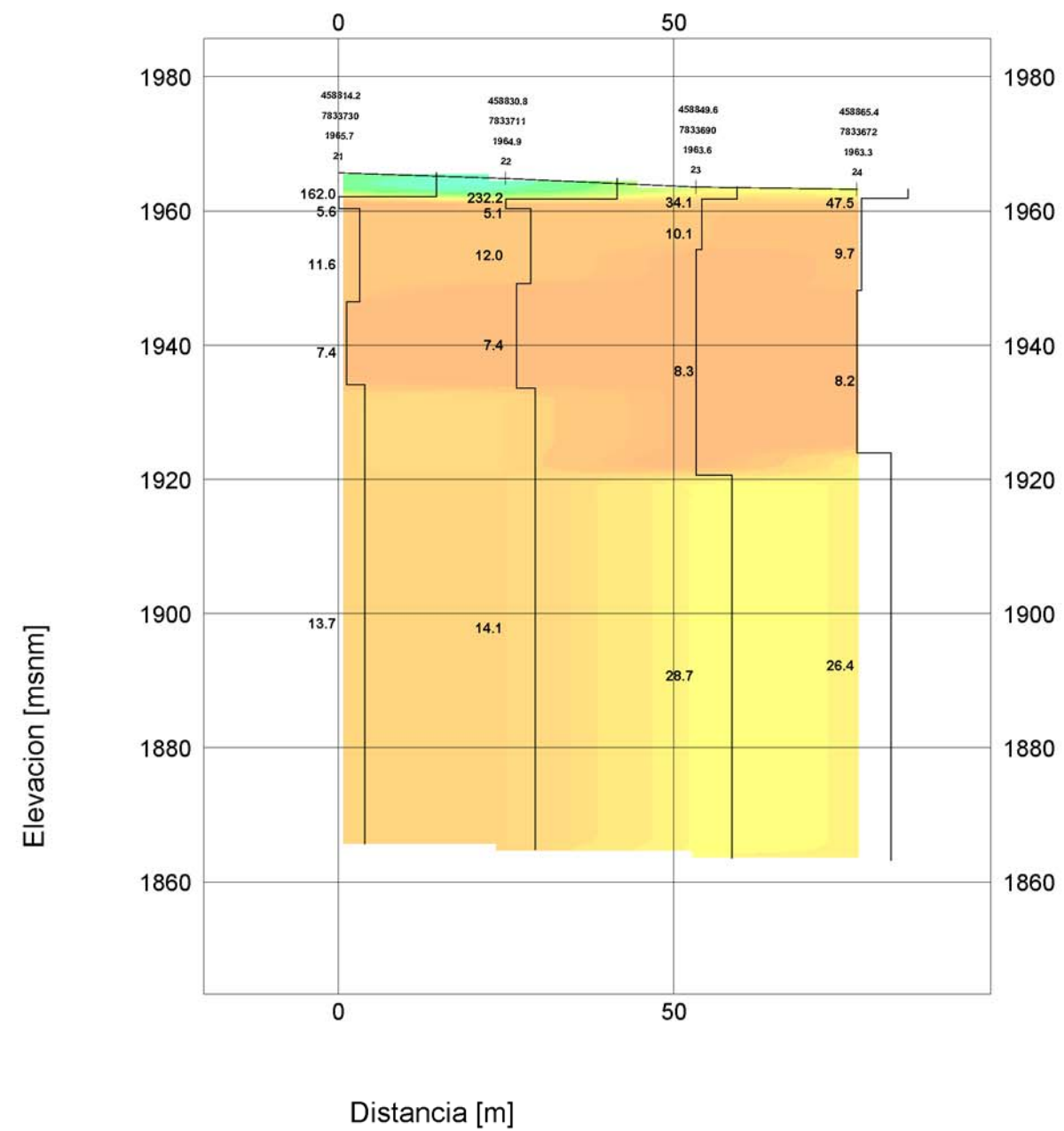
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N2A (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-2A



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N2B (MODELO DE CAPAS)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-2B



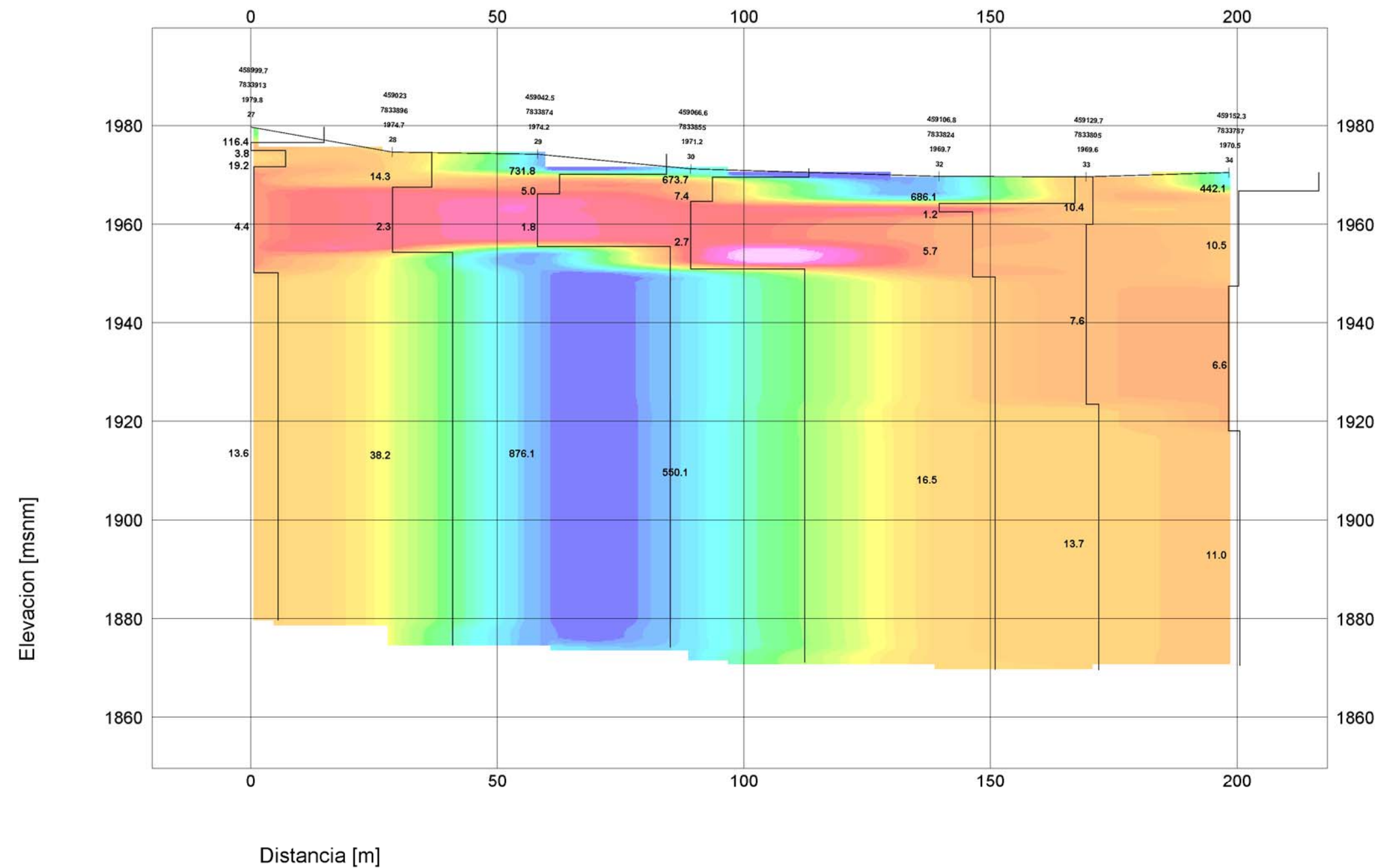
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

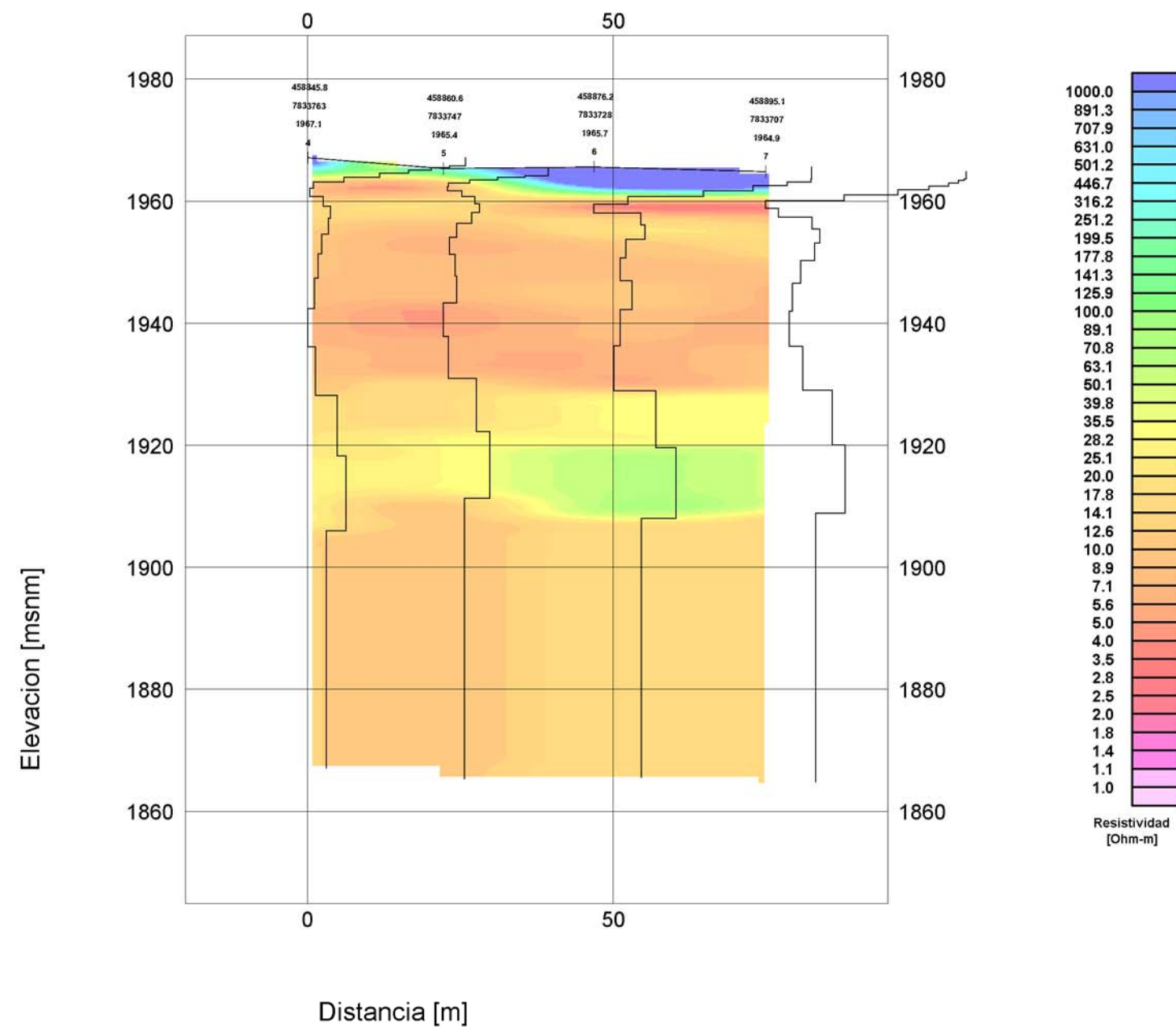
AMPHOS 21 - DGA

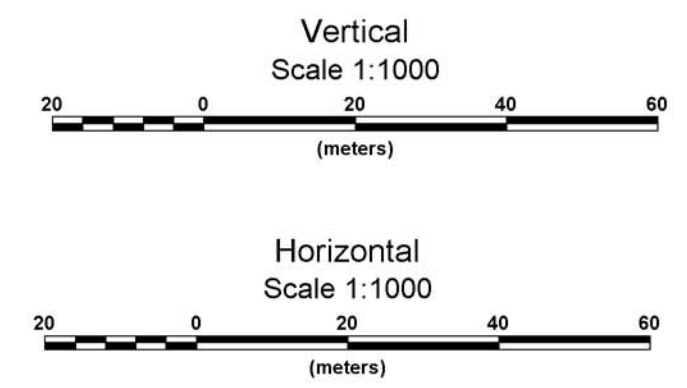
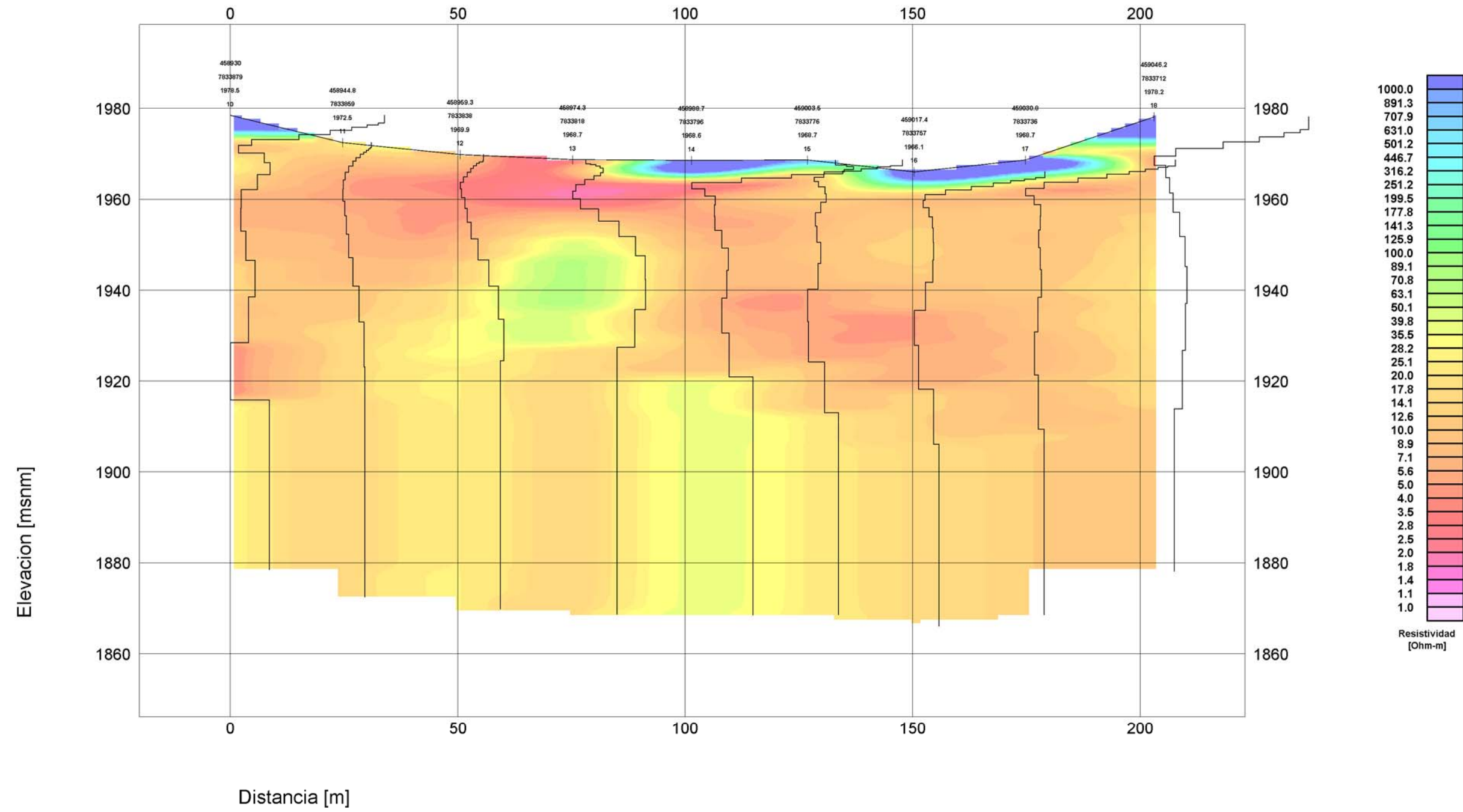
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N2C (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-2C

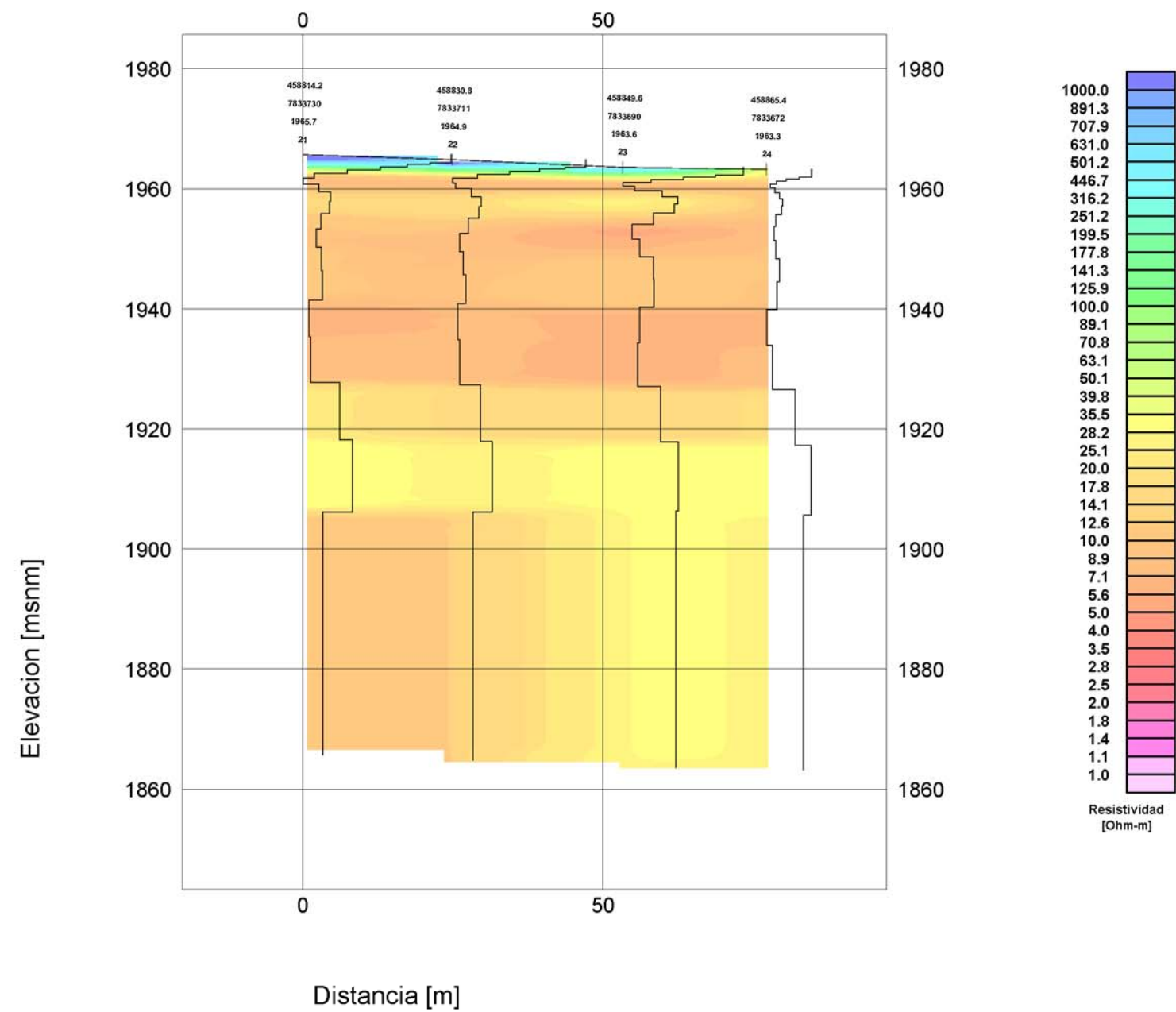


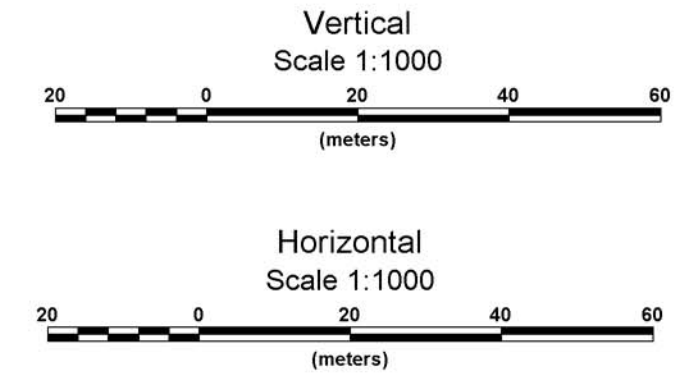
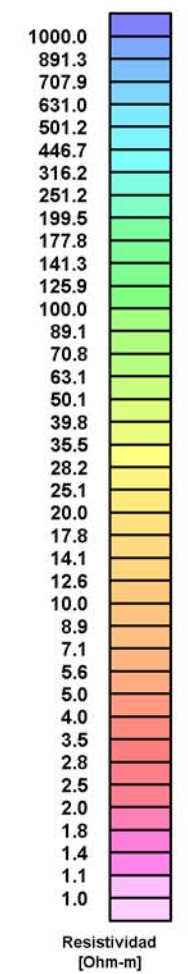
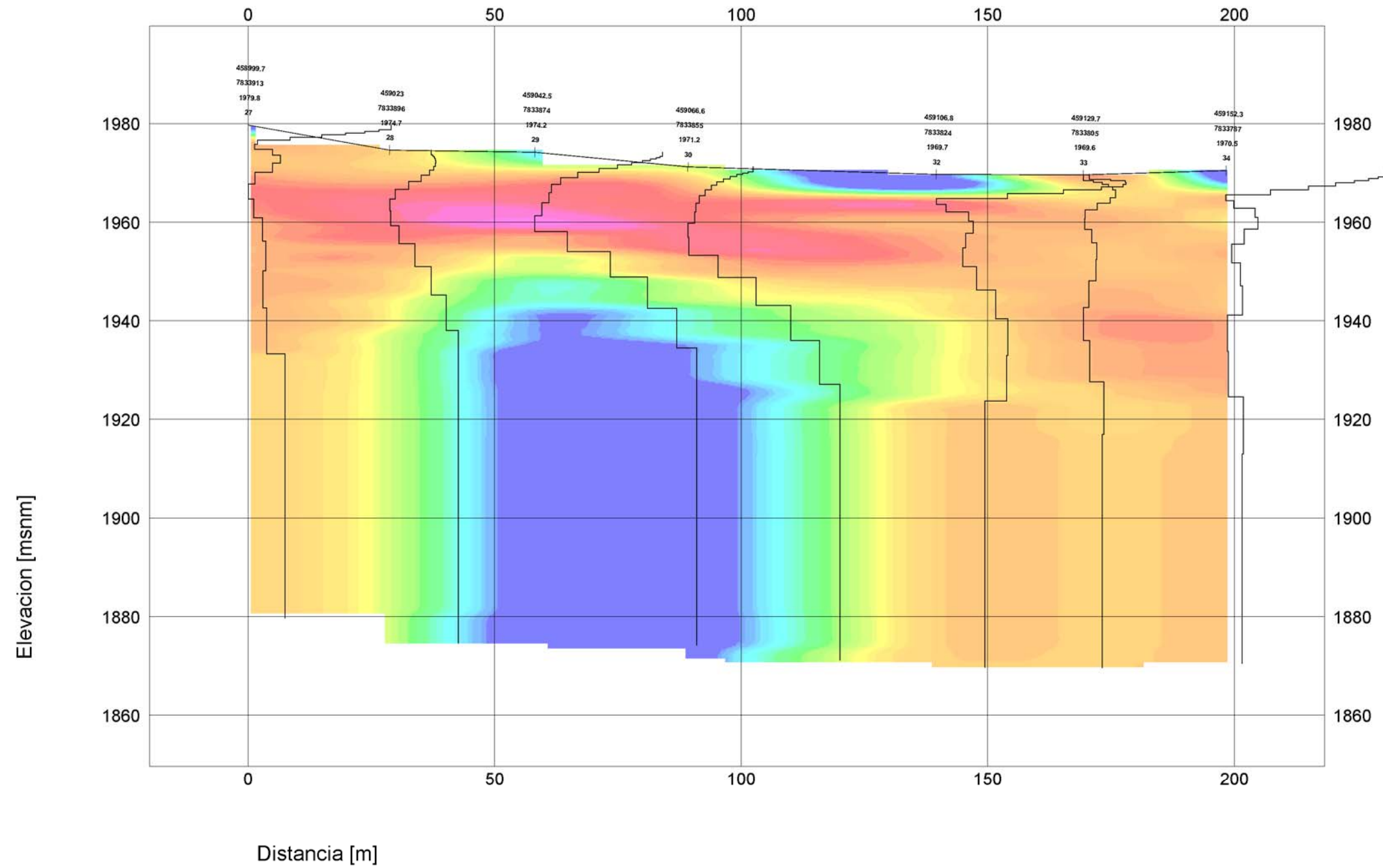




WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

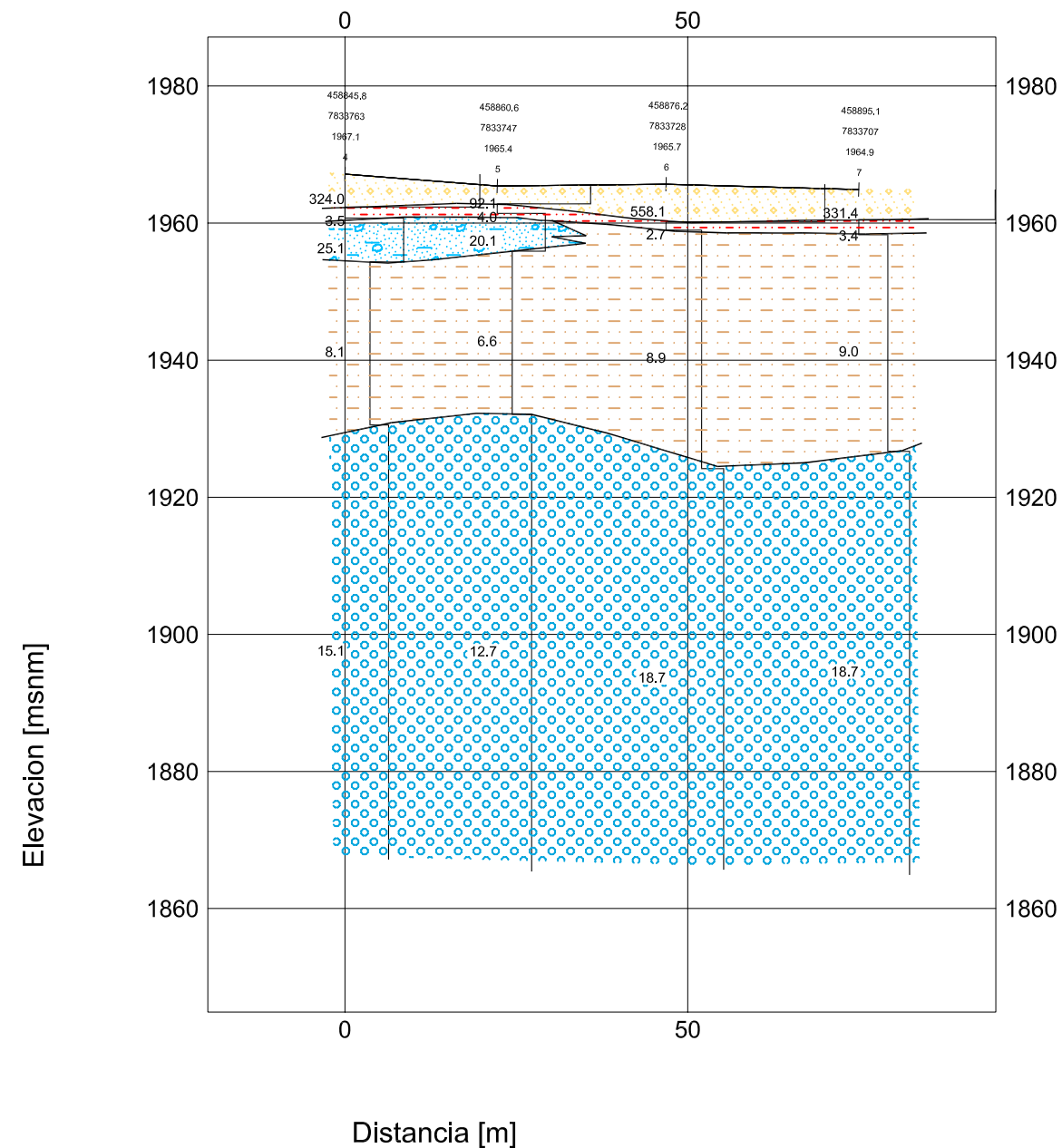
AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N2B (SMOOTH MODEL)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-2Bs





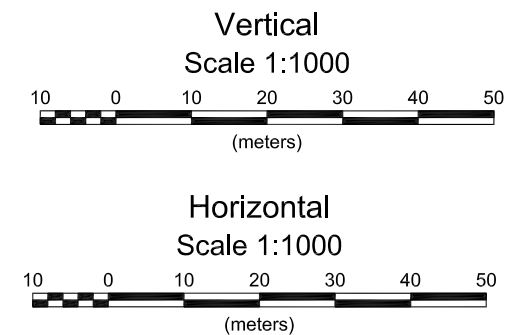
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N2D (SMOOTH MODEL)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-2Ds



LEYENDA

- Sedimentos superficiales, no saturados
- Arcillas
- Gravas y arenas saturadas
- Arenas y limos saturados
- Gravas arcillosas saturadas
- Roca basal



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

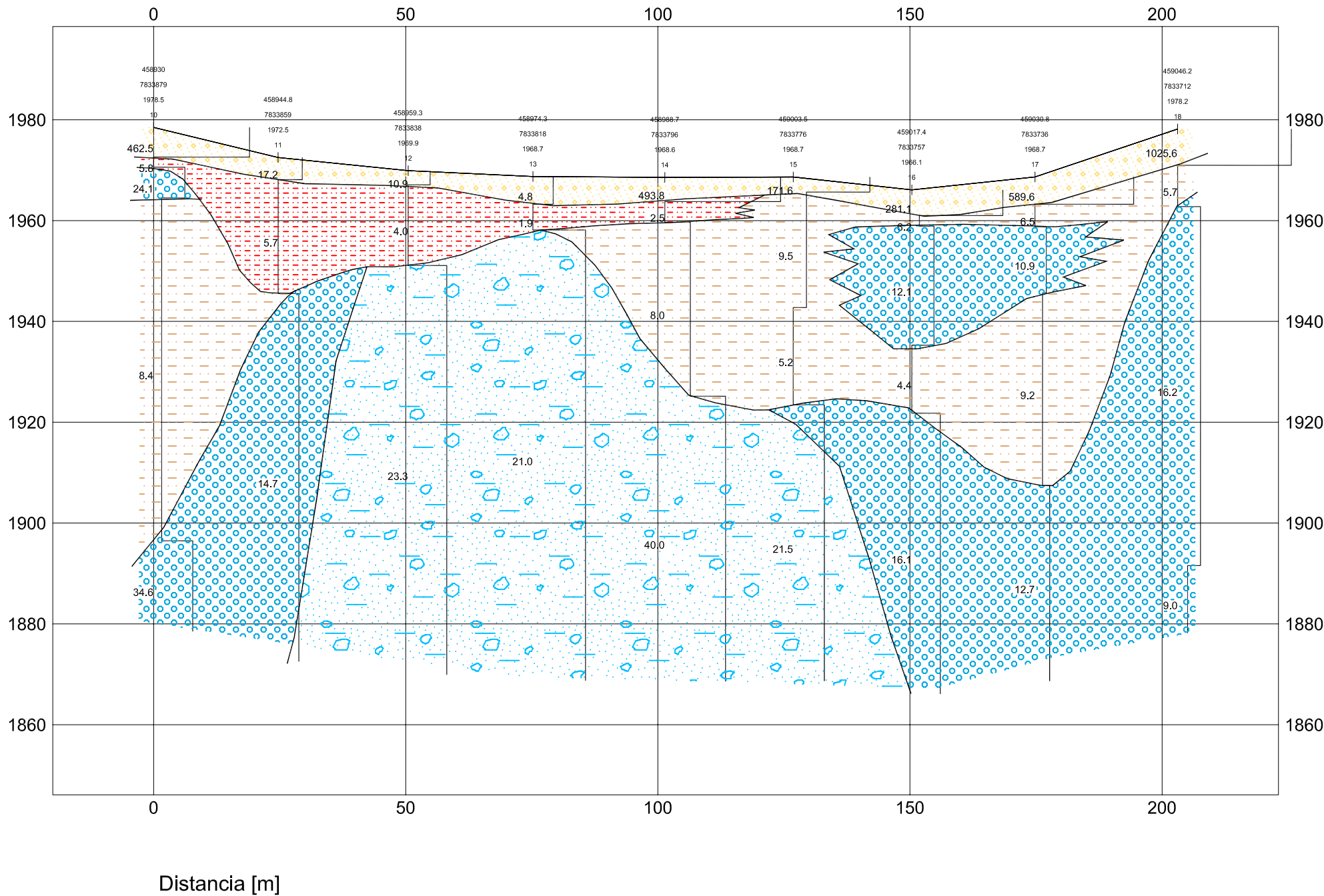
AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N2A (MODELO DE CAPAS)

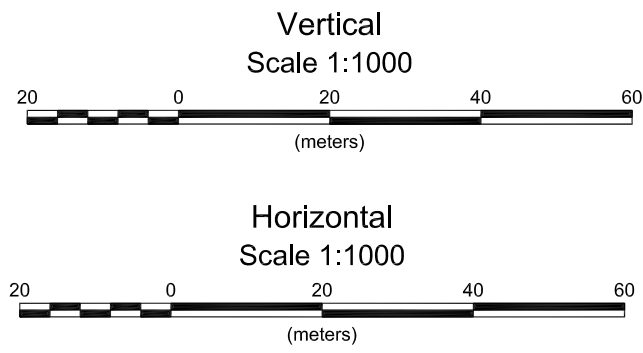
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I - NT-2A

Elevacion [msnm]



LEYENDA

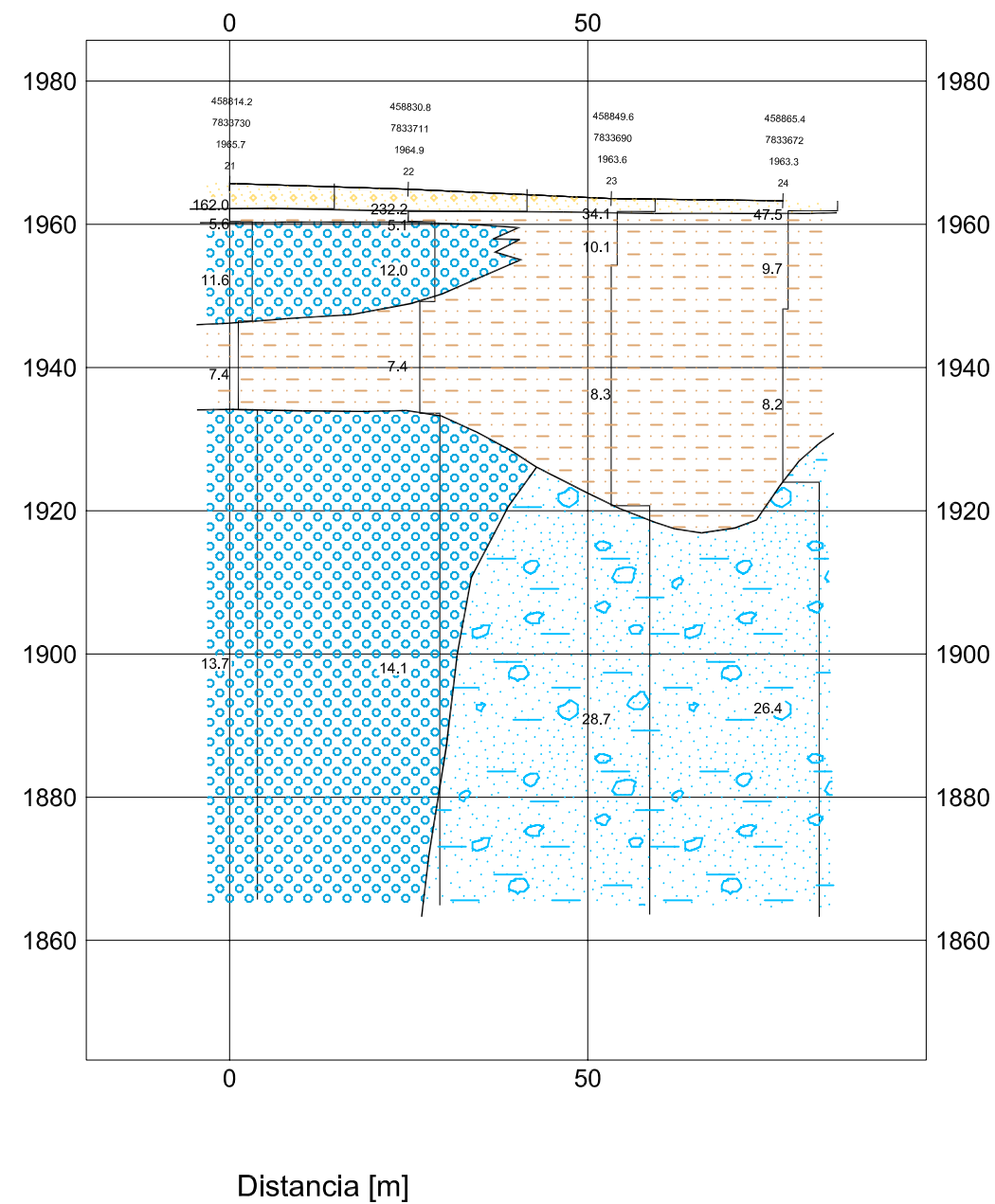
- Sedimentos superficiales, no saturados
- Arcillas
- Gravas y arenas saturadas
- Arenas y limos saturados
- Gravas arcillosas saturadas
- Roca basal



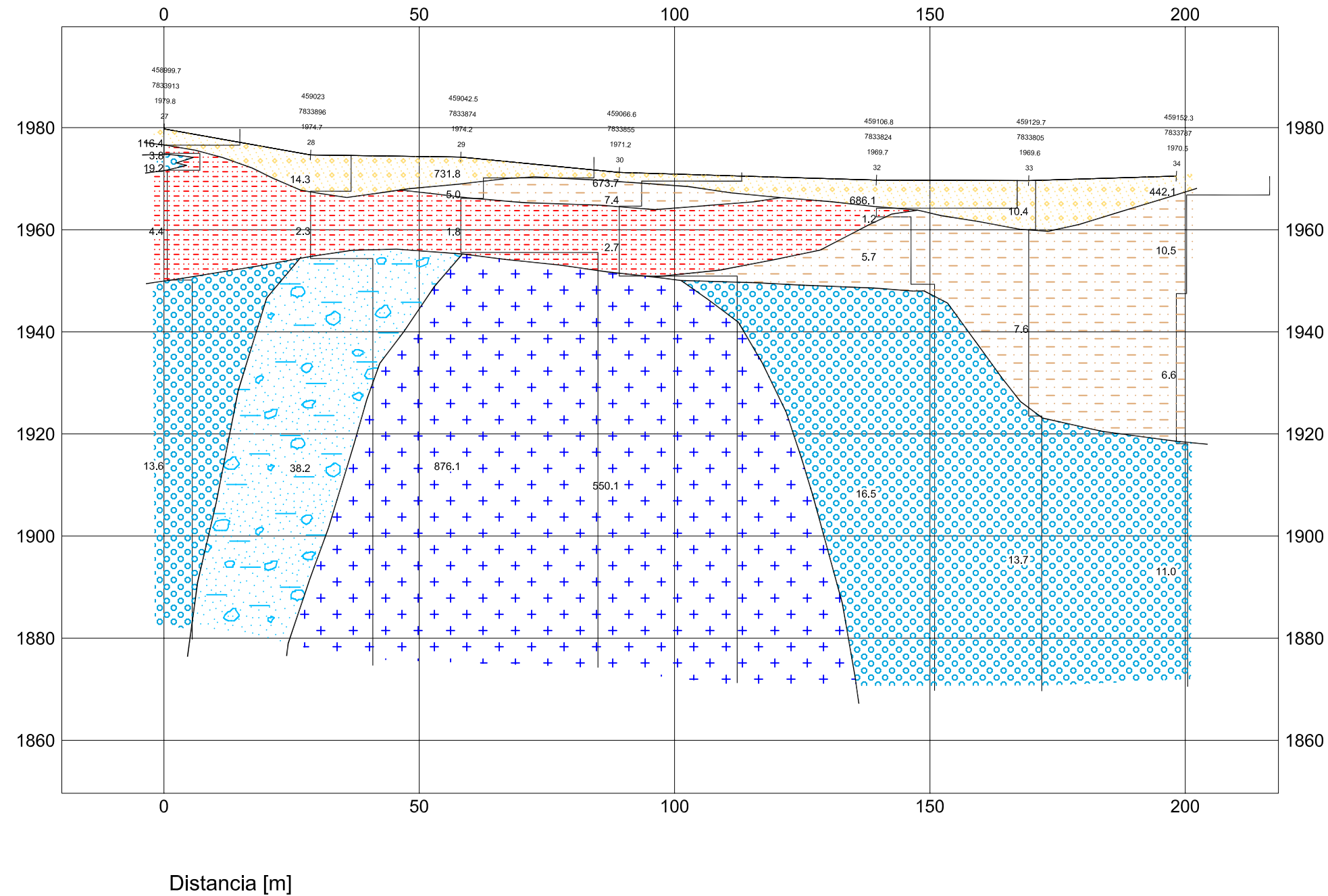
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N2B (MODELO DE CAPAS)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I-NT-2B

Elevacion [msnm]



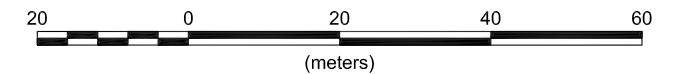
Elevacion [msnm]



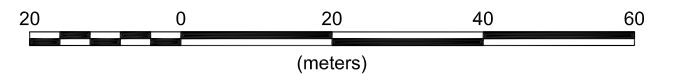
LEYENDA

- Sedimentos superficiales, no saturados
- Arcillas
- Gravas y arenas saturadas
- Arenas y limos saturados
- Gravas arcillosas saturadas
- Roca basal

Vertical
Scale 1:1000



Horizontal
Scale 1:1000



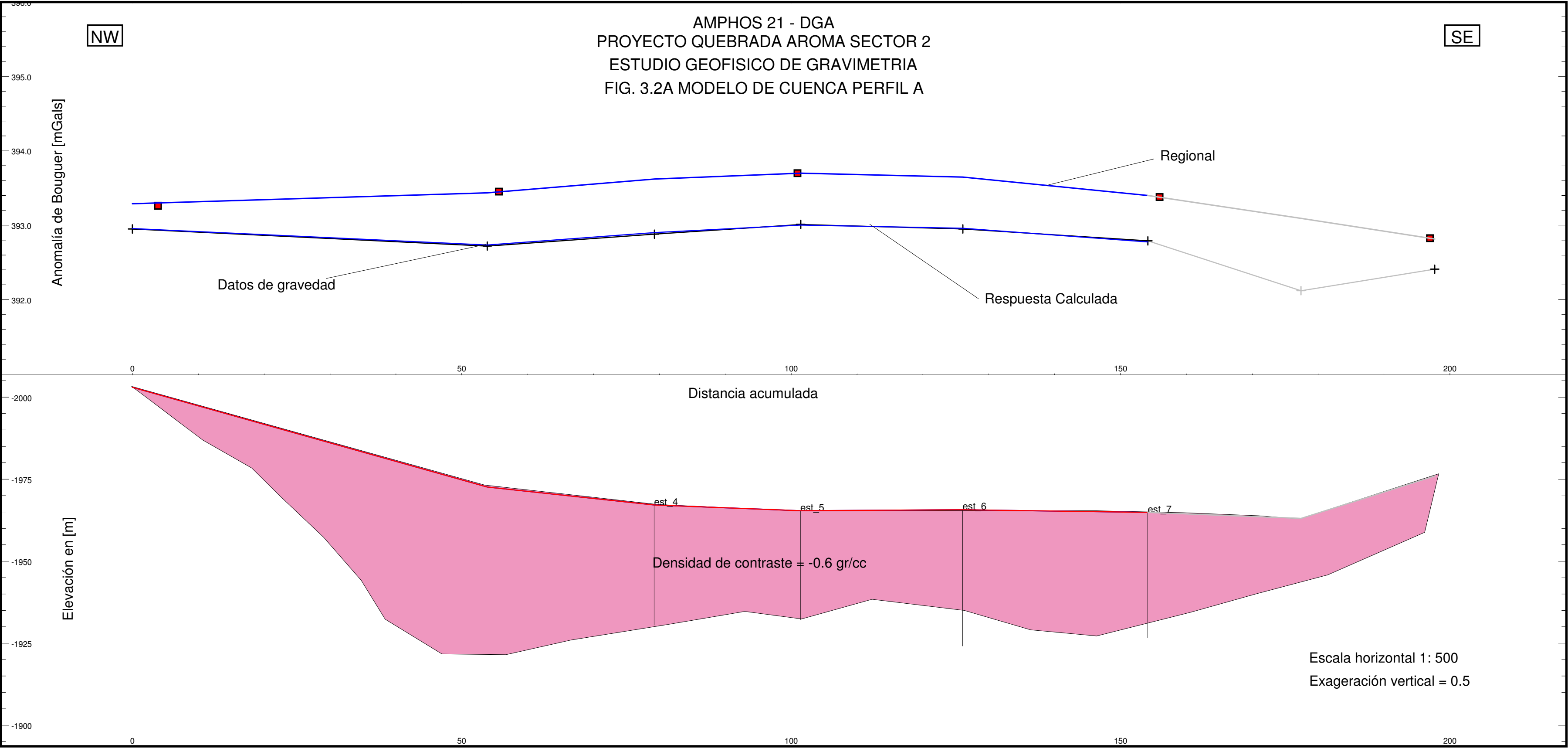
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

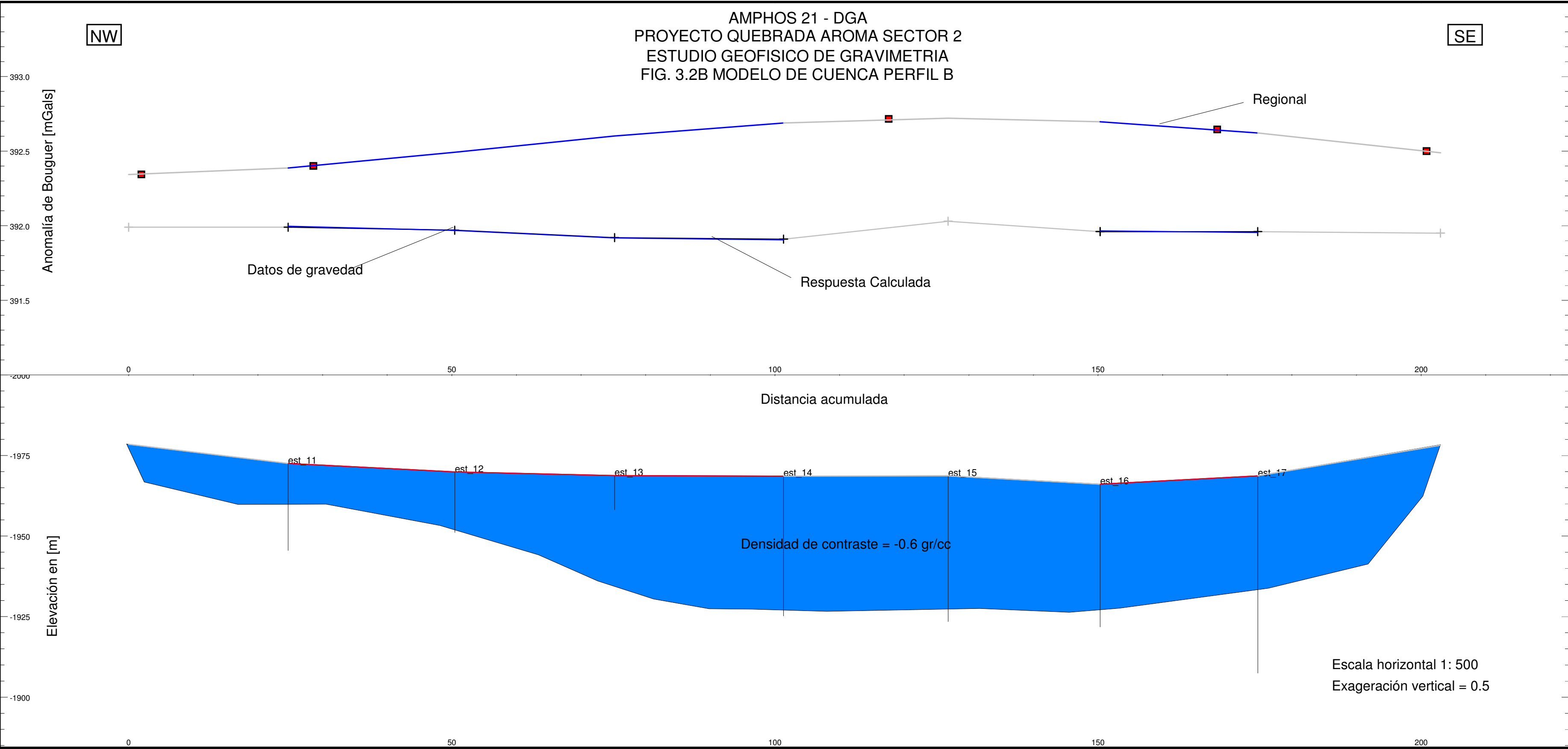
AMPHOS 21 - DGA

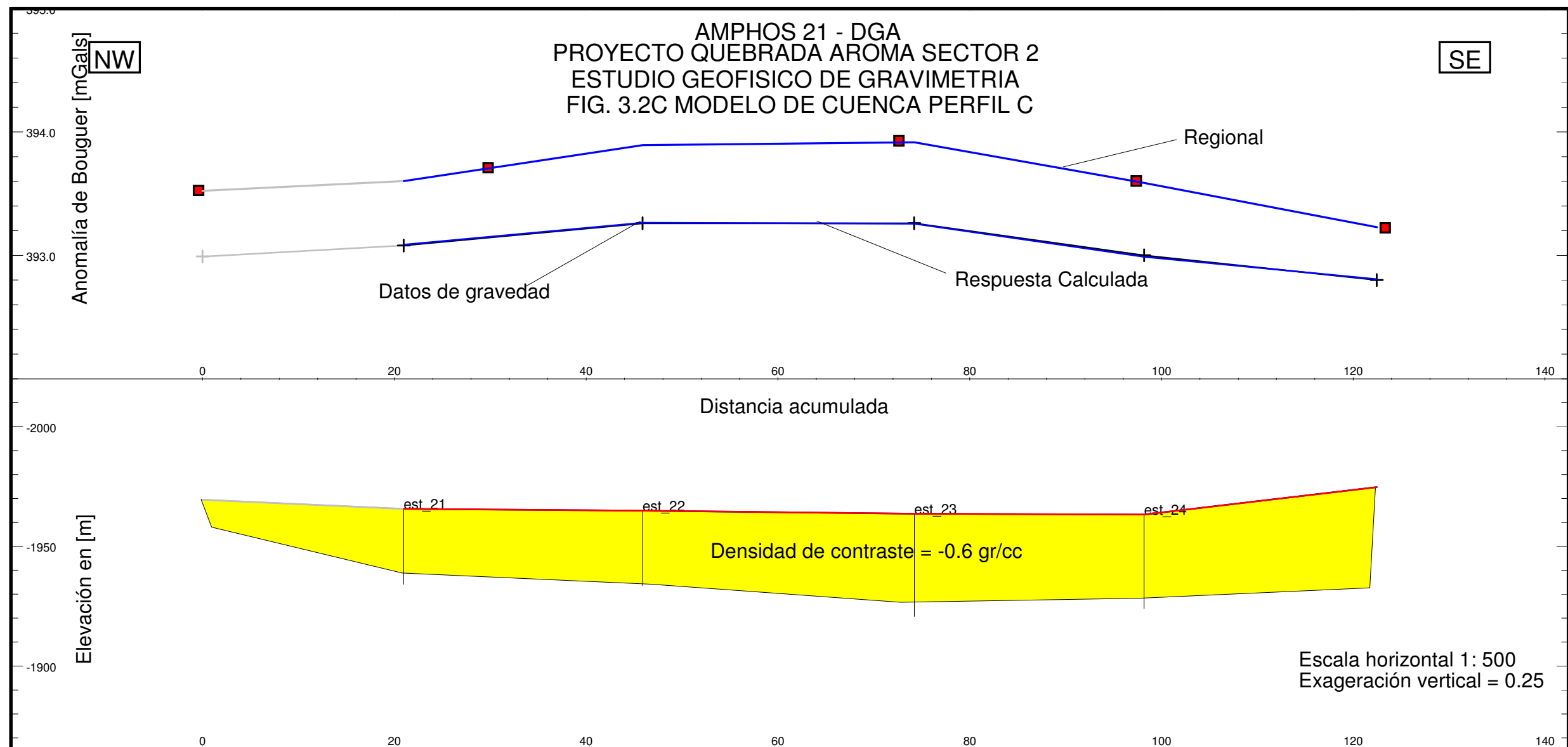
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 2
IQUIQUE - I REGION

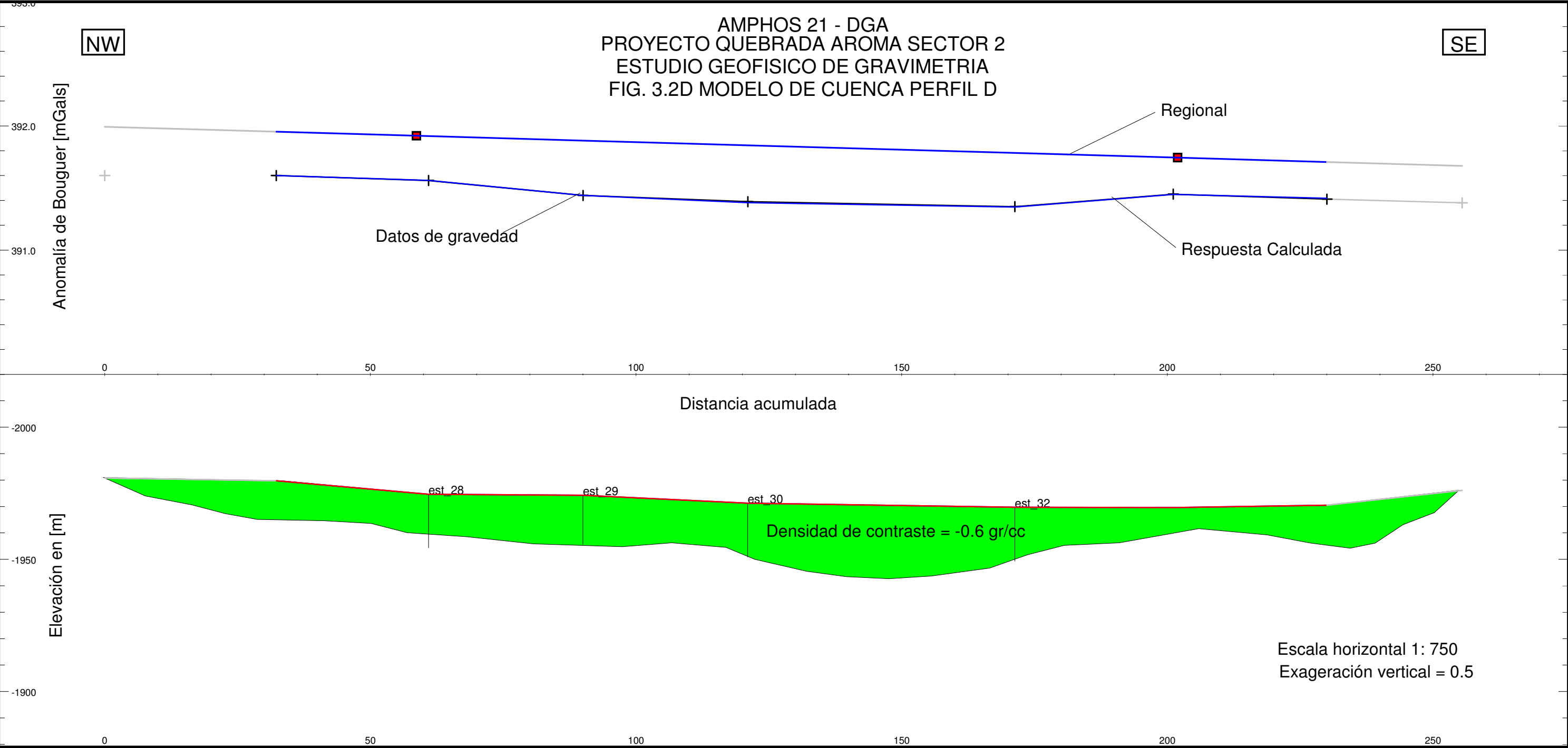
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N2D (MODELO DE CAPAS)

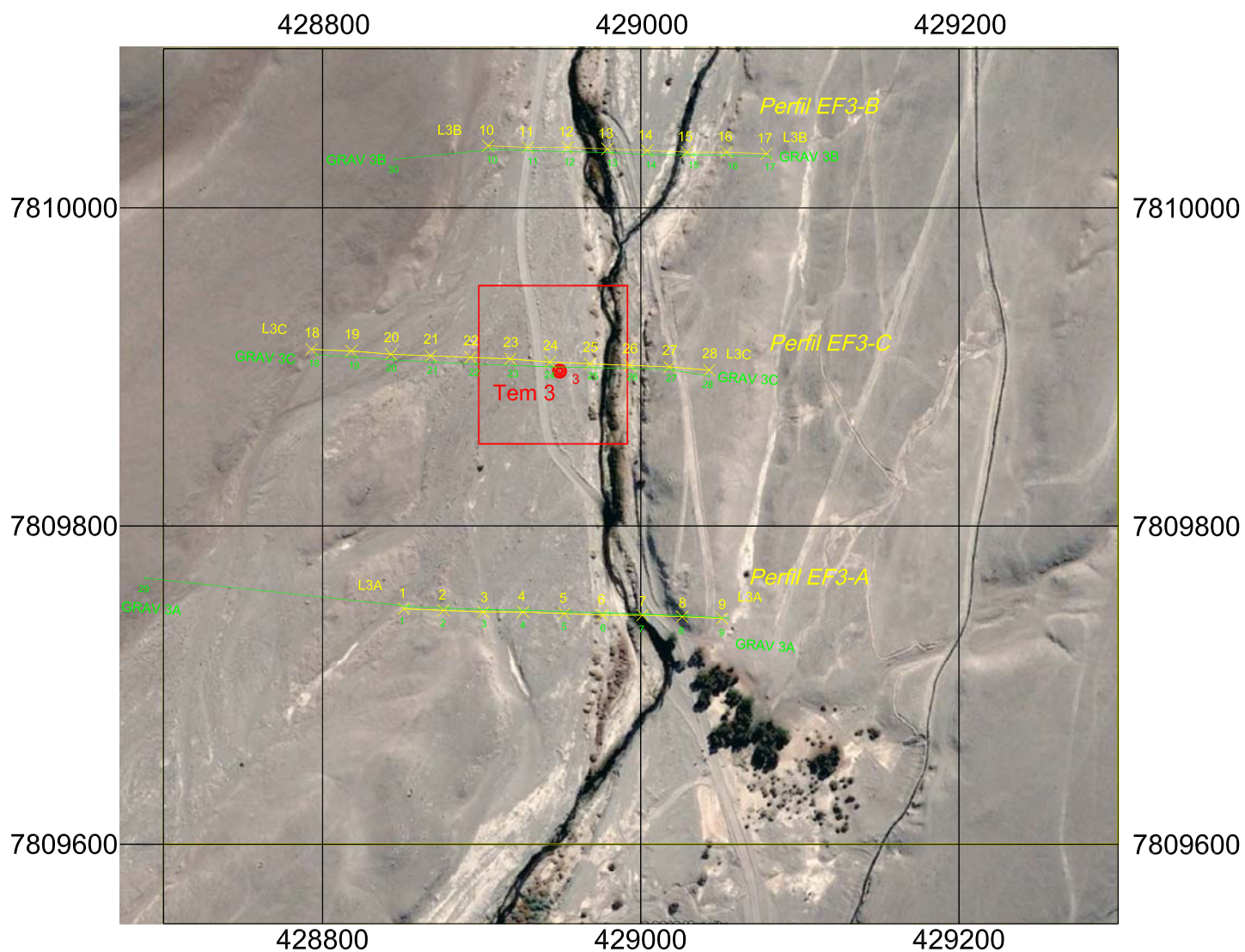
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I-NT-2D









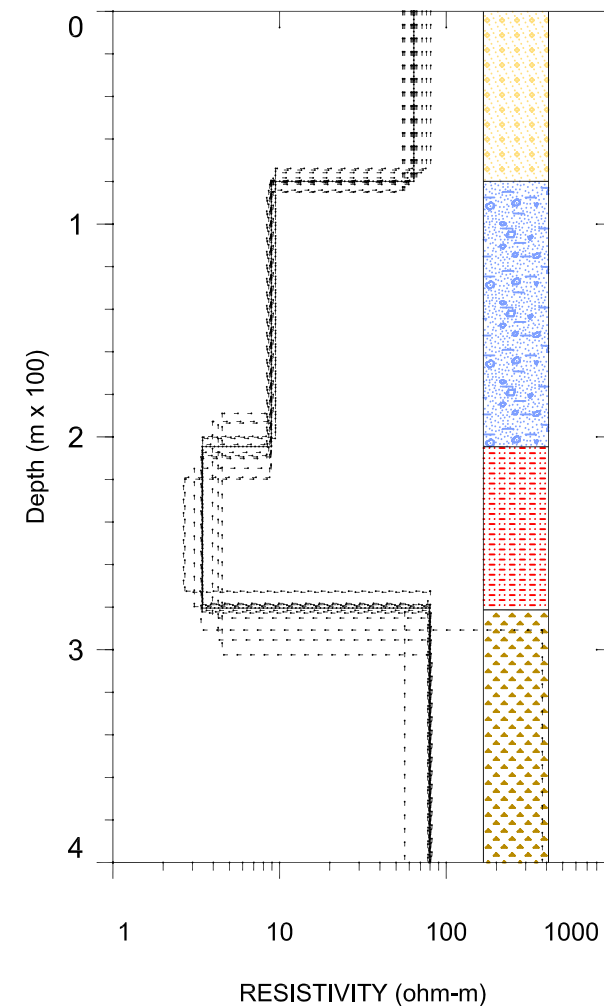
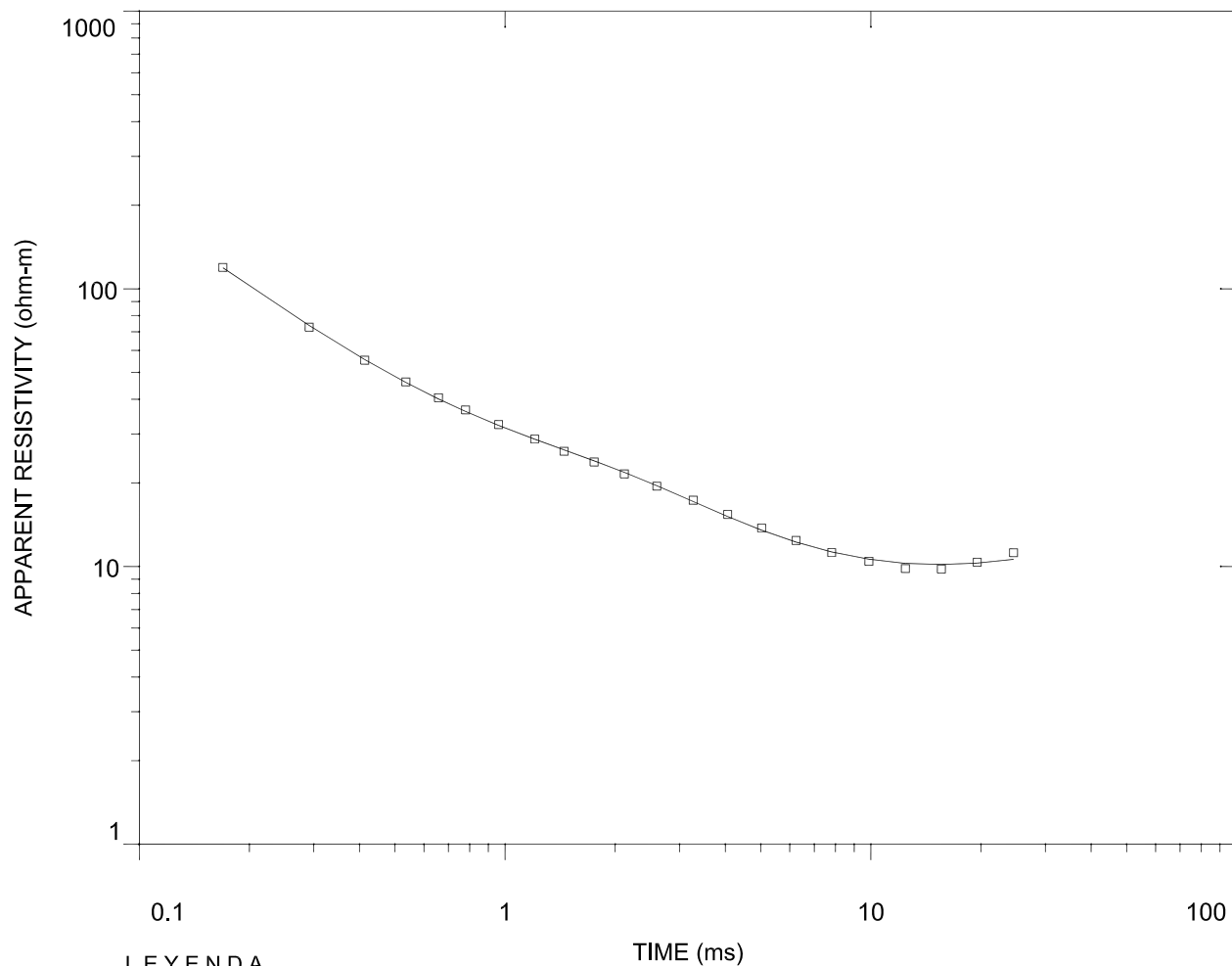






Estaciones Nanotem medidas = 28

Estaciones Tem medidas = 1

Estaciones Gravimétricas medidas = 30

AMPHOS 21		
SECTOR QUEBRADA AROMA 3		
IQUIQUE - I REGION		
ESTUDIO GEOFISICO DE GRAVIMETRIA-NANOTEM - TEM		
UBICACION DE PERFILES GEOFISICOS		
SOBRE IMAGEN GOOGLE EARTH		
GEODATOS SAIC	FIG. 2_3	16_NOVIEMBRE_2013



- LEYENDA
-  Sedimentos superficiales
 -  Arenas, limos y arcillas saturadas
 -  Arcillas
 -  Sedimentos compactos y/o roca alterada

AMPHOS-DGA

Geodatos

Data Set: T3-3-1

Date: 13-11-01

Equipment: ZONGE GDP12/16

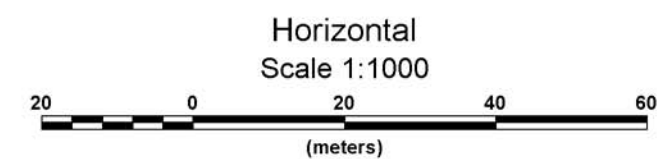
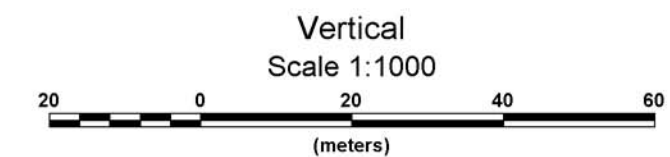
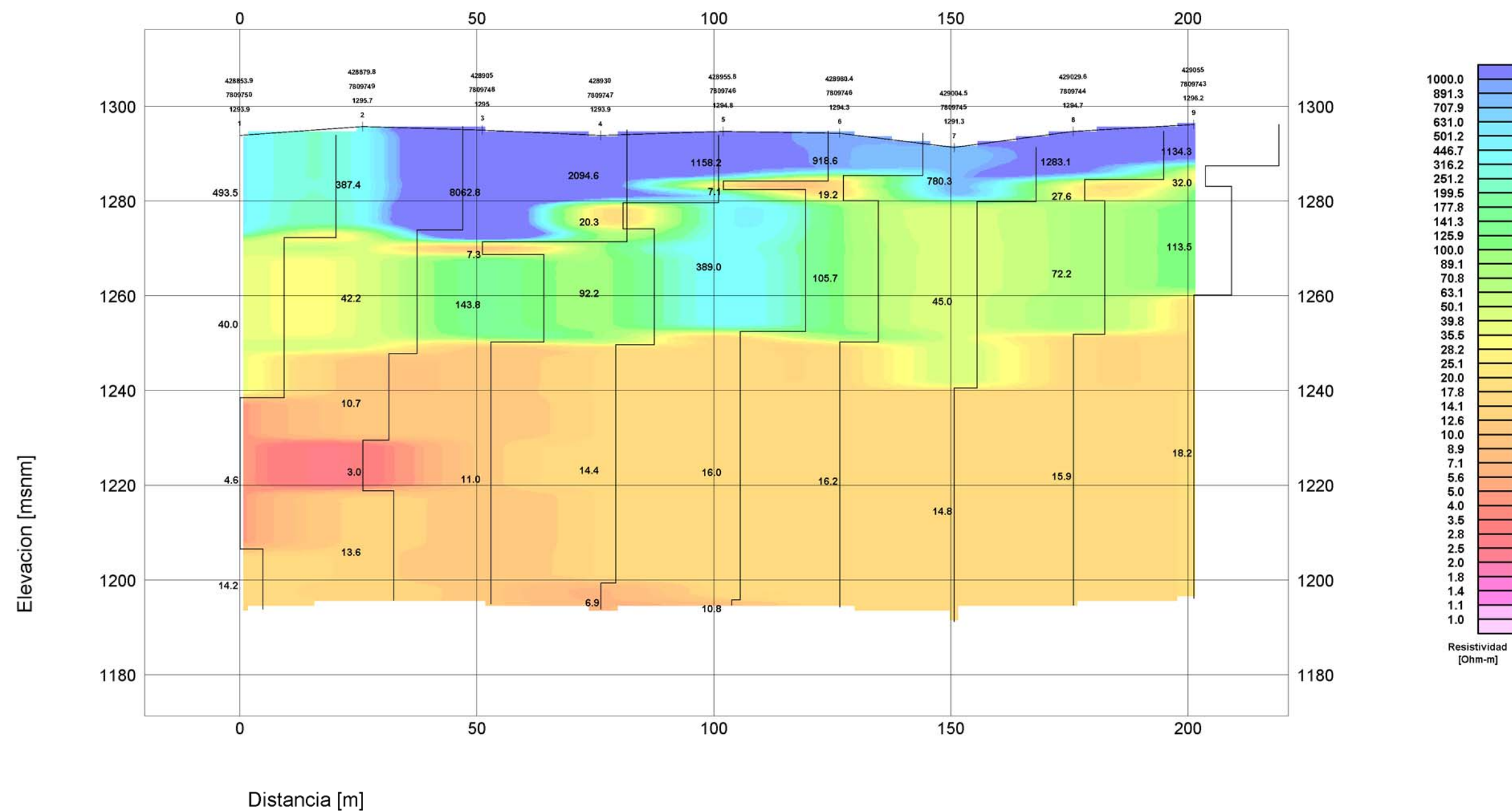
Sounding: tem3

TEM QUEBRADA AROMA Sector 3

428949/7809897 WGS84 TEM

IQUIQUE-I REGION

FIG. I -T3 Interpretación Sondeo Tem 3



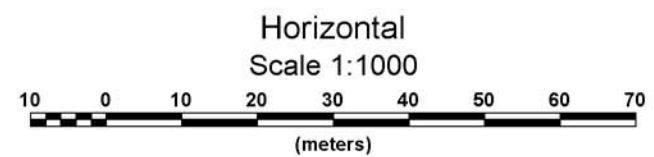
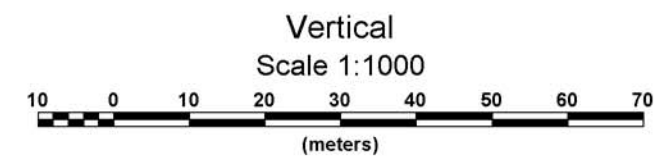
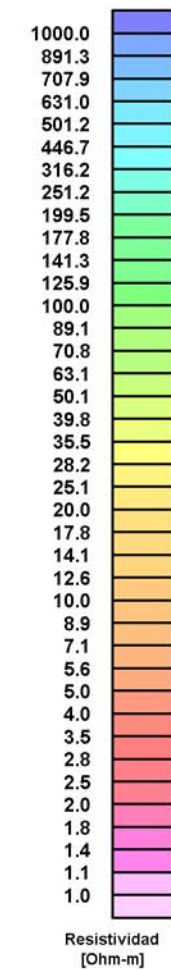
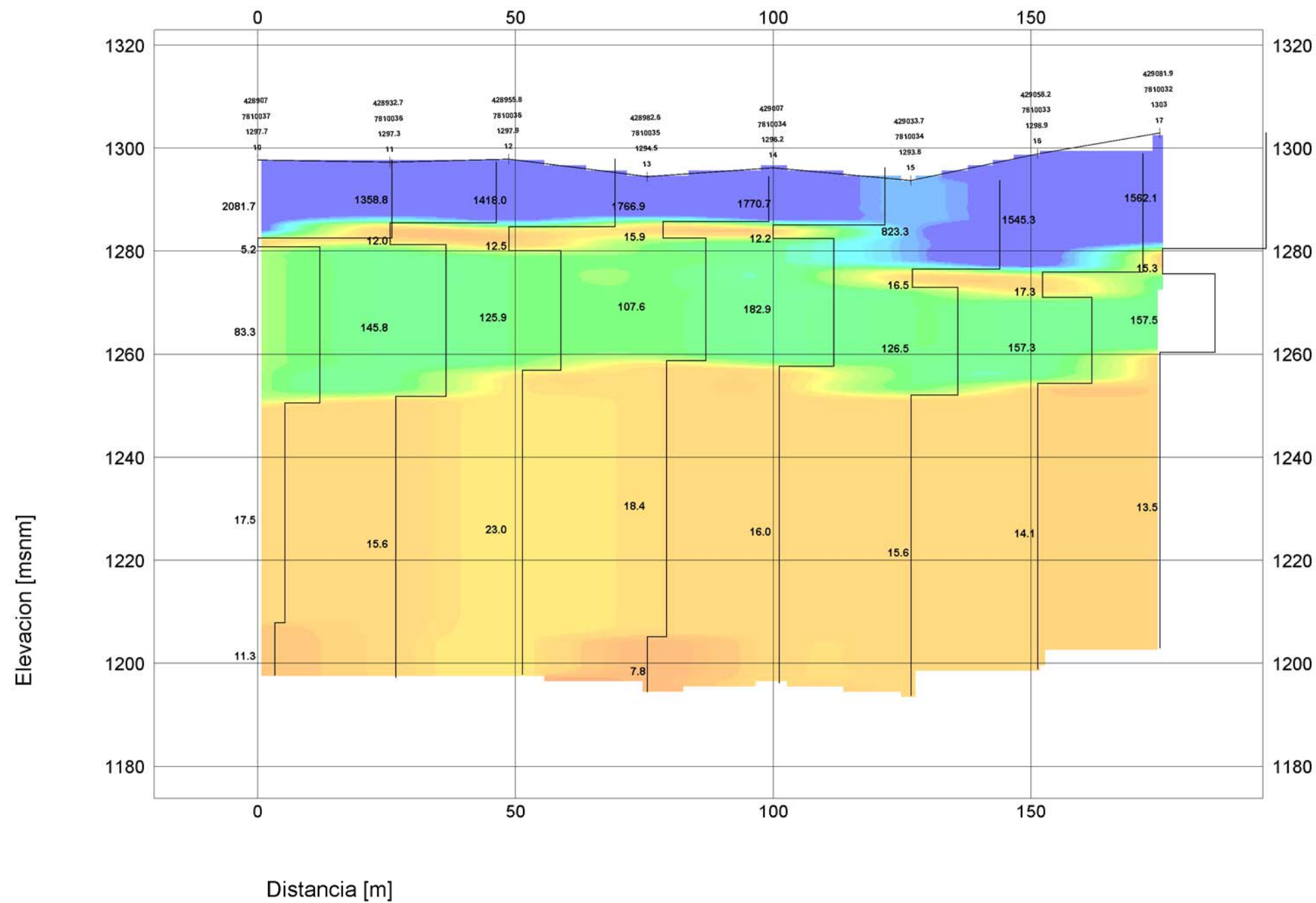
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N3A (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-3A



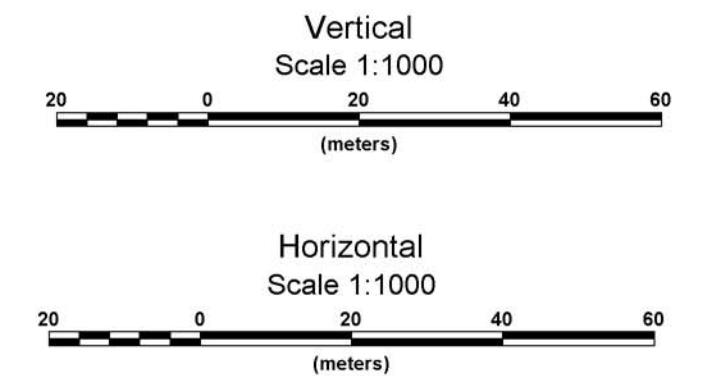
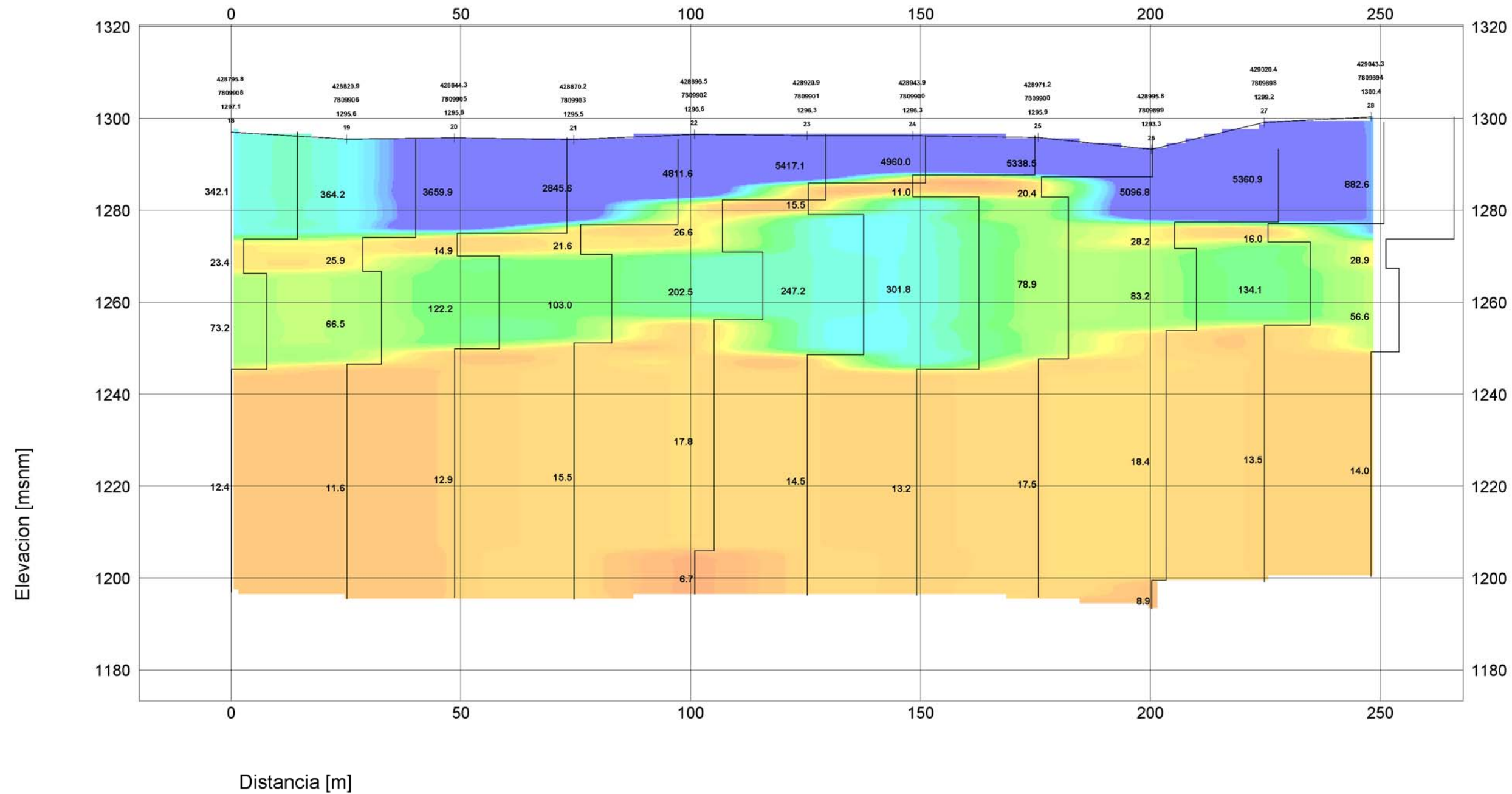
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N3B (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-3B



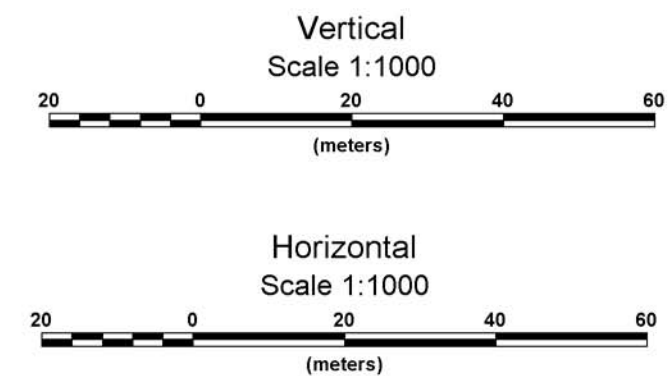
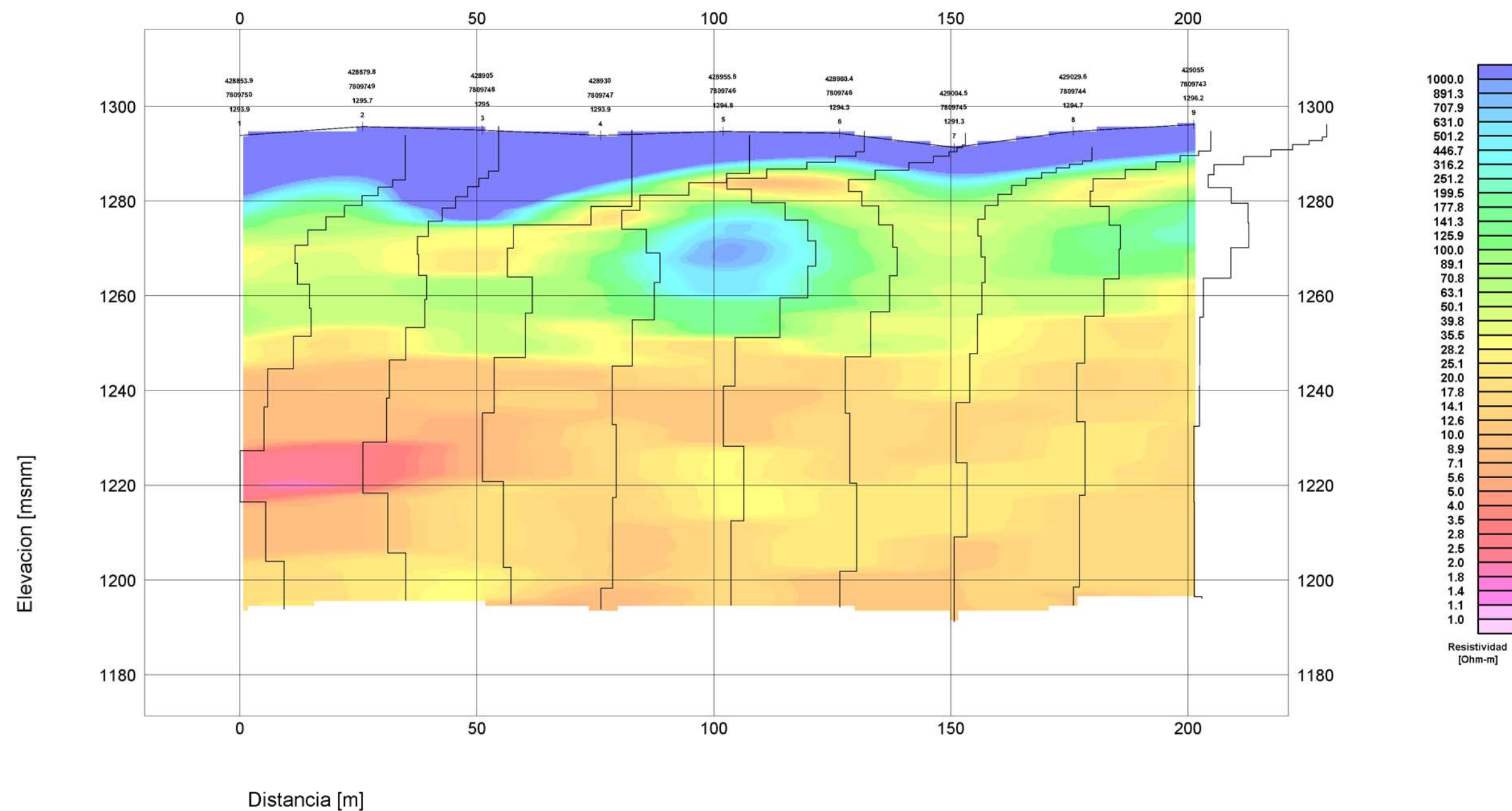
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3
IQUIQUE - I REGION

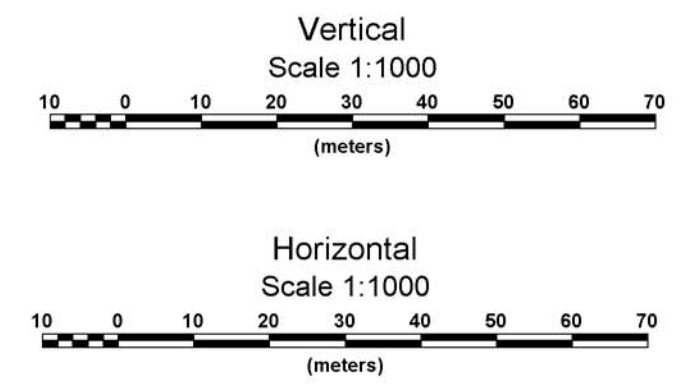
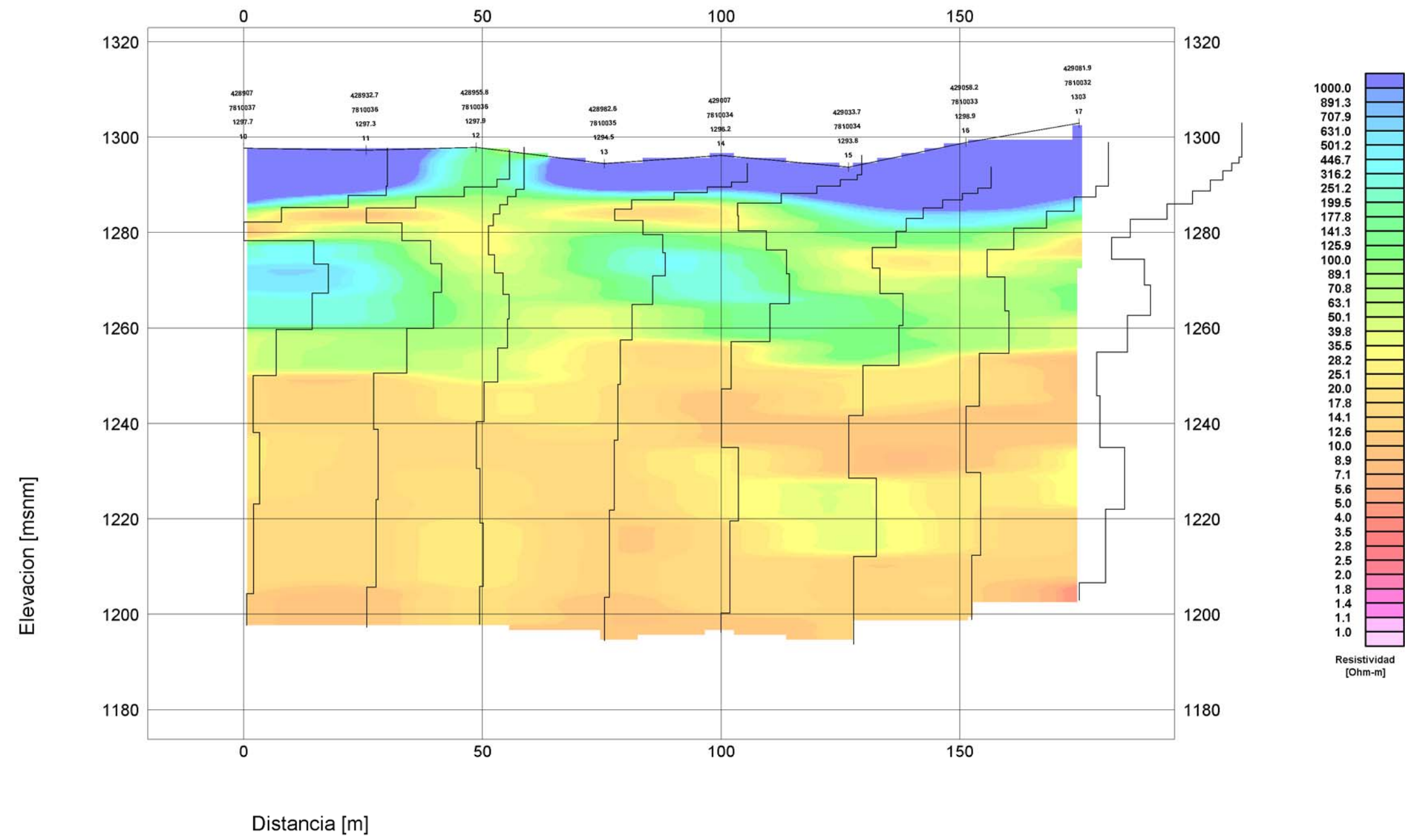
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N3C (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-3C



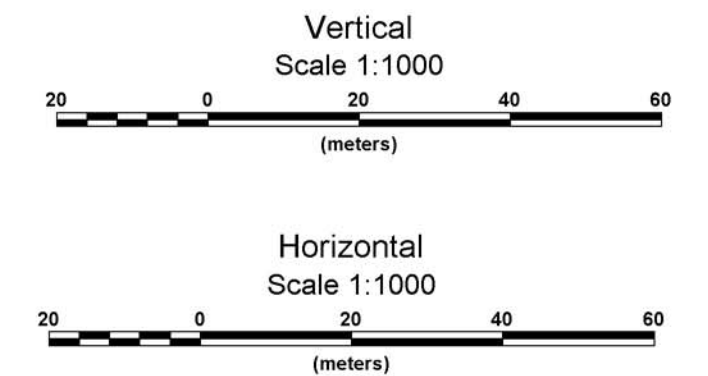
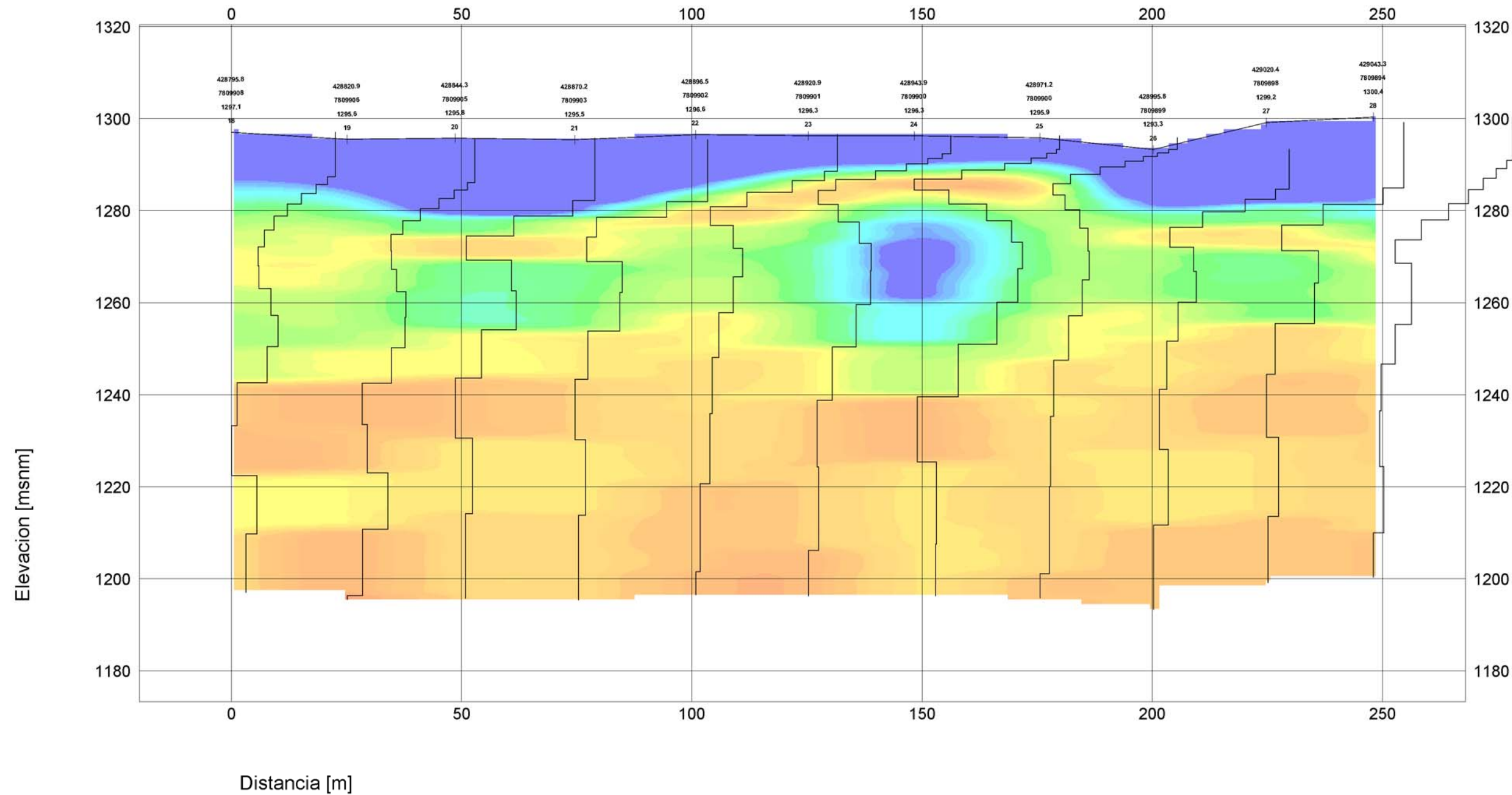
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3 IQUIQUE - I REGION
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N3A (SMOOTH MODEL)
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-3As



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA		
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3 IQUIQUE - I REGION		
ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM SECCION DE MODELOS 1D PERFIL N3B (SMOOTH MODEL)		
NOVIEMBRE 2013	GEODATOS SAIC	FIG NT-3Bs



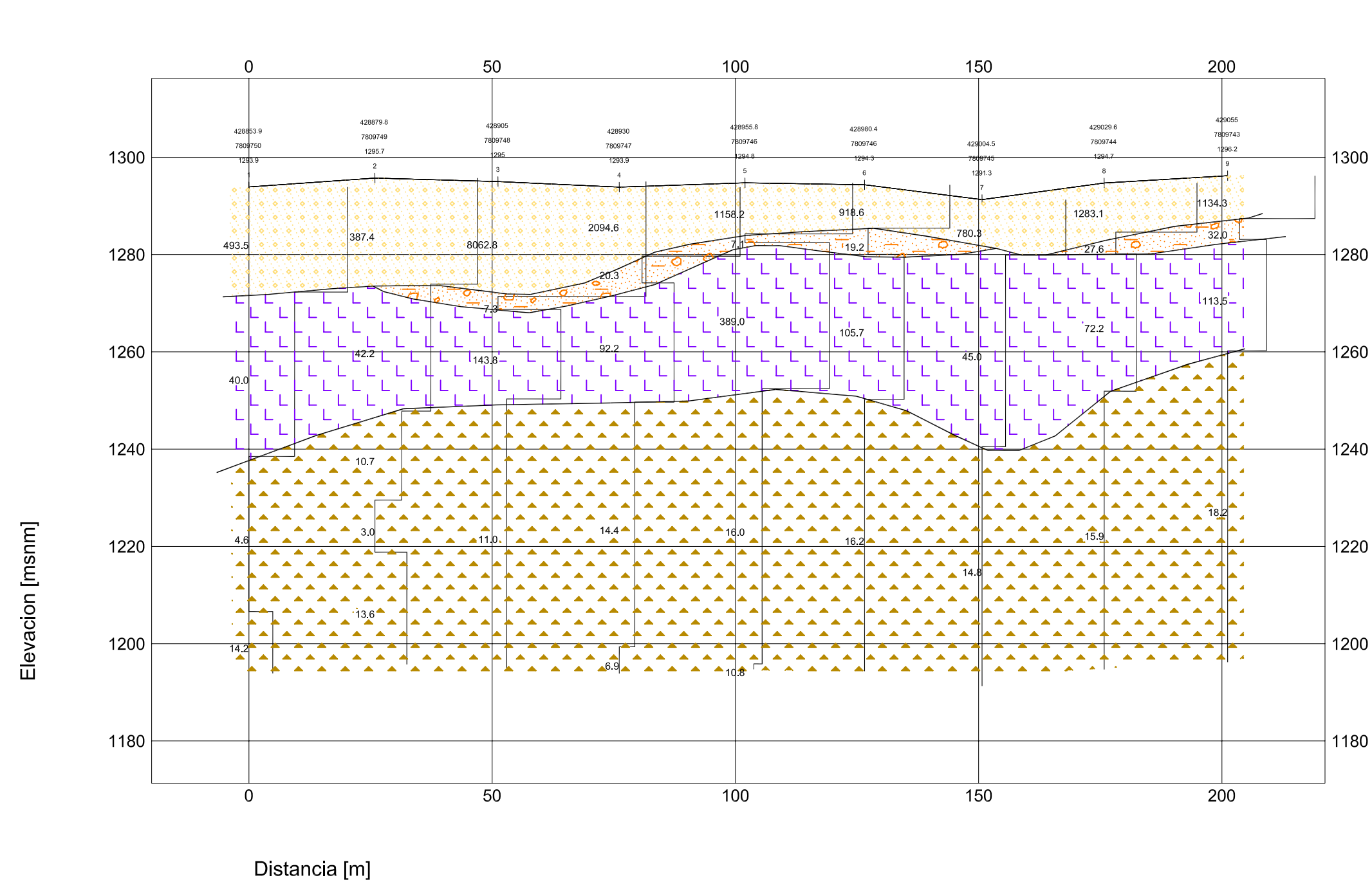
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N3C (SMOOTH MODEL)

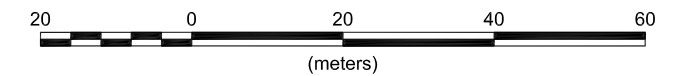
NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG NT-3Cs



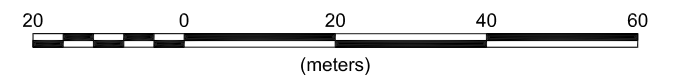
LEYENDA

- Sedimentos superficiales, no saturados
- Sedimentos : gravas, arenas y arcillas
- Sedimentos compactos y/o lavas
- Sedimentos antiguos, posiblemente saturados

Vertical
Scale 1:1000



Horizontal
Scale 1:1000



WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

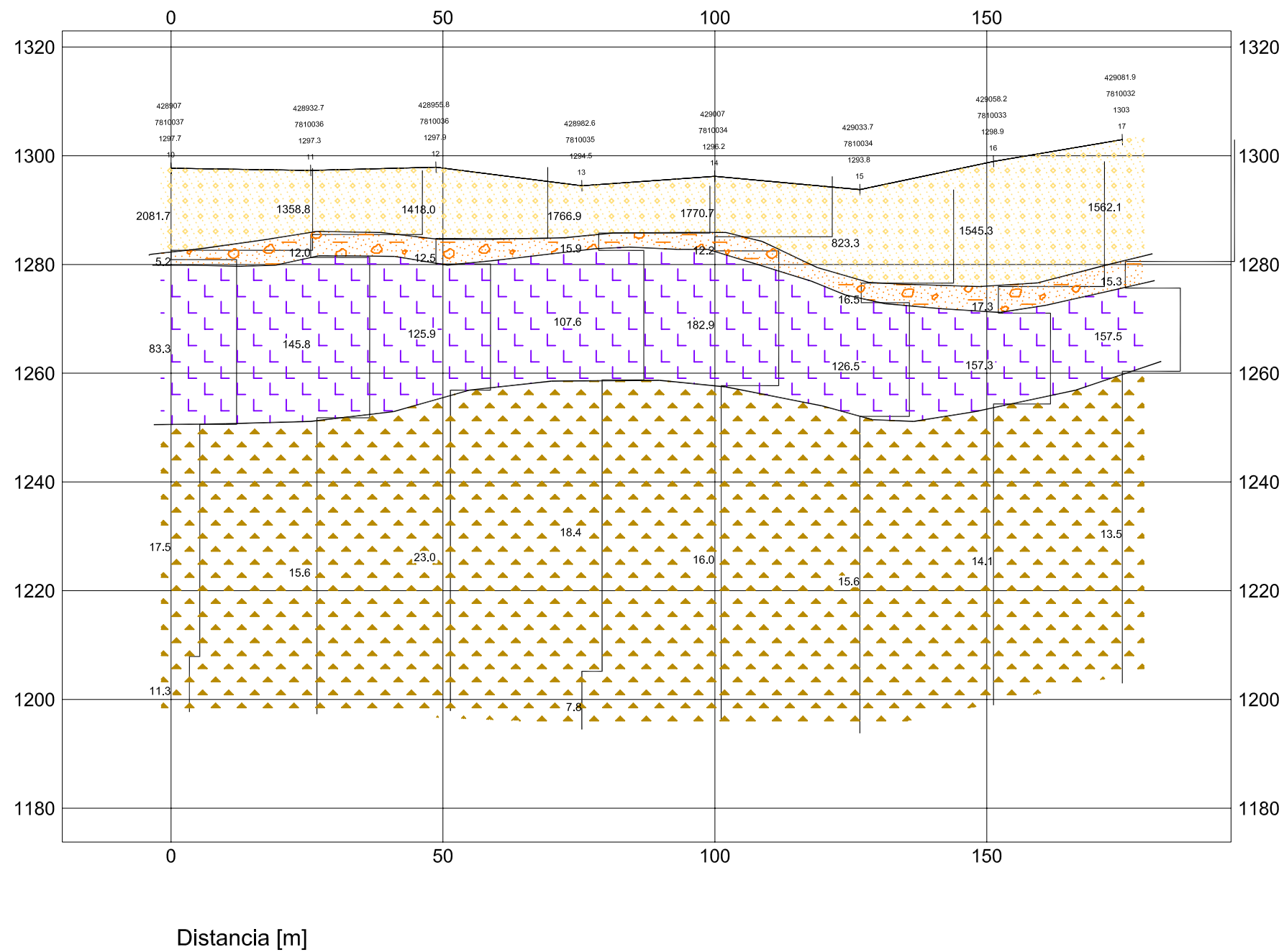
AMPHOS 21 - DGA

PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N3A (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I - NT-3A

Elevacion [msnm]



LEYENDA

- Sedimentos superficiales, no saturados
- Sedimentos : gravas, arenas y arcillas
- Sedimentos compactos y/o lavas
- Sedimentos antiguos, posiblemente saturados

Vertical
Scale 1:1000
10 0 10 20 30 40 50 60 70
(meters)

Horizontal
Scale 1:1000
10 0 10 20 30 40 50 60 70
(meters)

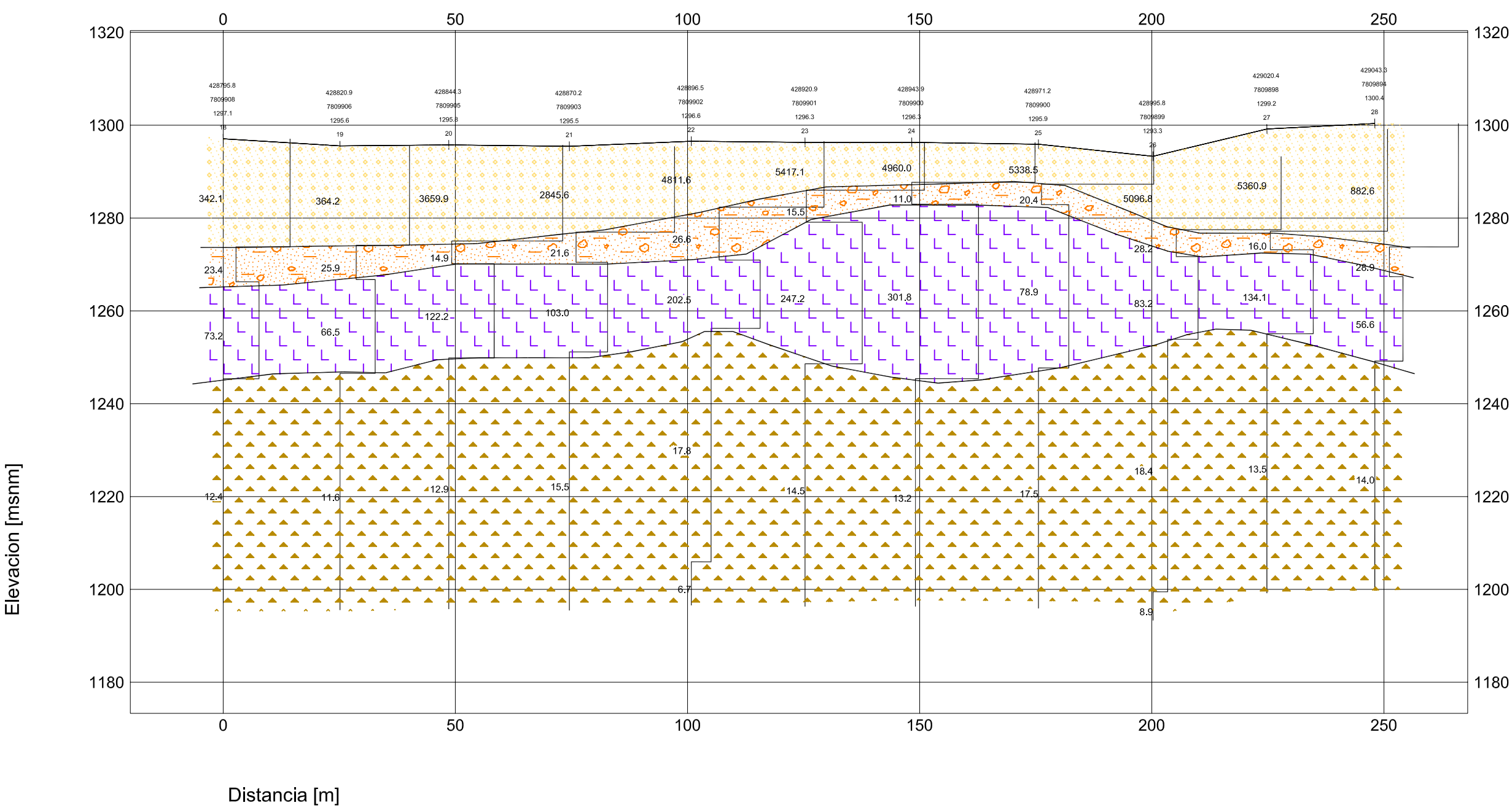
WGS84/UTM zone19S/cotas - GPS Diferencial

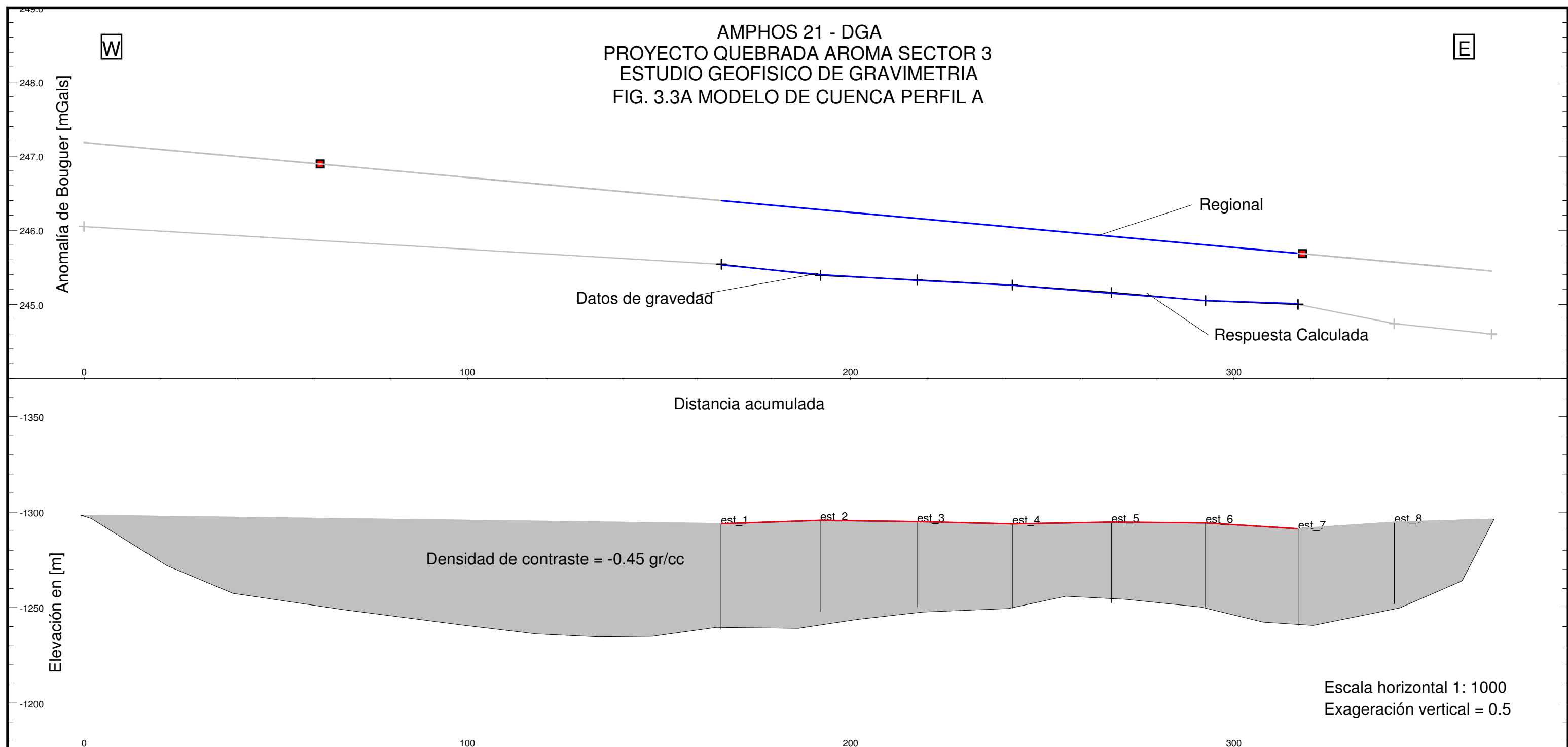
AMPHOS 21 - DGA

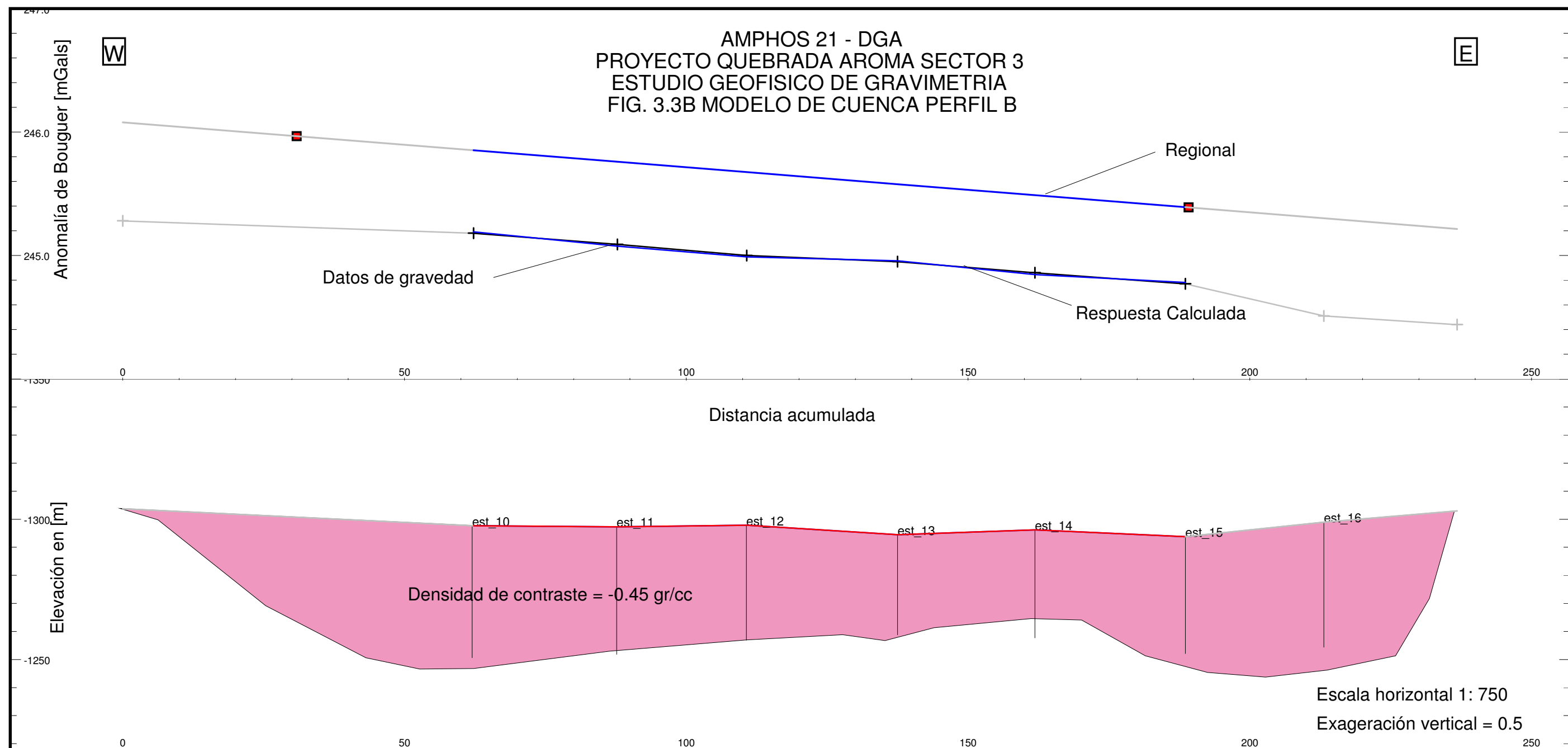
PROYECTO: QUEBRADA AROMA, SECTOR 3
IQUIQUE - I REGION

ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE NANO-TEM
SECCION DE MODELOS 1D
PERFIL N3B (MODELO DE CAPAS)

NOVIEMBRE 2013 GEODATOS SAIC FIG I -NT-3B







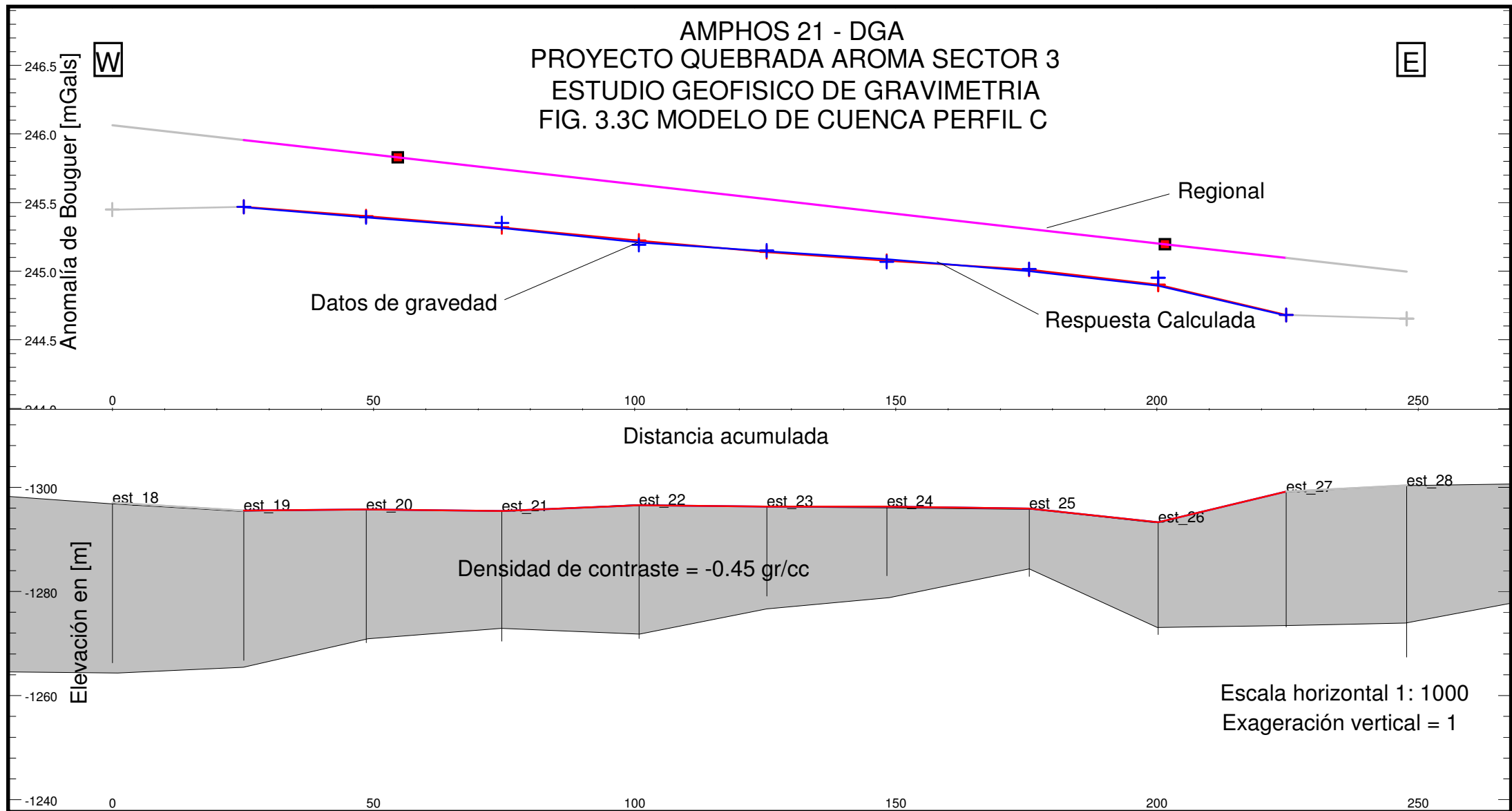


TABLA N° 2

Línea	Este	Norte	Estación	Elevación
	m	m		m
L1.1	468261,76	7838196,92	1	2197,67
L1.1	468285,21	7838191,98	2	2195,84
L1.1	468305,45	7838182,45	3	2196,71
L1.1	468328,96	7838174,46	4	2196,42
L1.1	468351,75	7838165,23	5	2196,15
L1.1	468374,05	7838156,65	6	2196,57
L1.1	468399,06	7838147,80	7	2197,52
L1.1	468421,73	7838137,19	8	2199,99
L1.1	468444,37	7838126,85	9	2205,87
L1.2	468299,96	7838353,24	12	2204,56
L1.2	468320,81	7838361,49	13	2198,48
L1.2	468346,90	7838361,50	14	2200,67
L1.2	468372,21	7838361,65	15	2200,29
L1.2	468397,62	7838361,42	16	2199,54
L1.2	468423,40	7838361,11	17	2200,76
L1.2	468448,90	7838361,42	18	2200,72
L1.2	468475,89	7838347,73	19	2208,07
L1.3	468311,52	7838280,65	22	2201,15
L1.3	468331,14	7838274,73	23	2196,92
L1.3	468353,01	7838269,94	24	2198,19
L1.3	468379,18	7838264,22	25	2198,21
L1.3	468403,15	7838259,66	26	2198,09
L1.3	468426,57	7838256,48	27	2198,70
L1.3	468452,45	7838249,29	28	2203,99
L1.3	468476,58	7838244,86	29	2206,44
L1.3	468497,21	7838242,82	30	2207,38
L1.4	468098,21	7838111,40	31	2194,77
L1.4	468118,28	7838099,37	32	2192,19
L1.4	468144,05	7838090,34	33	2192,10
L1.4	468167,18	7838079,84	34	2192,81
L1.4	468192,54	7838070,99	35	2193,11
L1.4	468218,10	7838061,65	36	2192,92
L1.4	468241,73	7838052,10	37	2193,20
L1.4	468266,12	7838042,55	38	2193,72
L1.4	468287,96	7838032,75	39	2198,98
L1.4	468312,16	7838025,19	40	2201,91
L1.4	468337,77	7838014,67	41	2204,00
L1.4	468361,33	7838001,06	42	2207,32

Línea	Este	Norte	Estación	Elevación
	m	m		m
L2.1	458796,09	7833824,81	1	2003,03
L2.1	458827,91	7833781,34	3	1972,61
L2.1	458845,81	7833763,08	4	1967,14
L2.1	458860,63	7833746,54	5	1965,40
L2.1	458876,24	7833727,50	6	1965,67
L2.1	458895,11	7833706,66	7	1964,89
L2.1	458912,78	7833691,18	8	1963,05
L2.1	458926,21	7833675,95	9	1975,97
L2.2	458930,01	7833878,74	10	1978,49
L2.2	458944,82	7833858,99	11	1972,52
L2.2	458959,32	7833837,66	12	1969,90
L2.2	458974,25	7833817,93	13	1968,74
L2.2	458988,73	7833796,14	14	1968,57
L2.2	459003,49	7833775,39	15	1968,65
L2.2	459017,44	7833756,45	16	1966,09
L2.2	459030,76	7833735,98	17	1968,65
L2.2	459046,15	7833712,24	18	1978,17
L2.3	458799,64	7833744,43	20	1969,49
L2.3	458814,24	7833729,36	21	1965,70
L2.3	458830,83	7833710,75	22	1964,91
L2.3	458849,57	7833689,51	23	1963,60
L2.3	458865,41	7833671,51	24	1963,29
L2.3	458880,87	7833652,79	25	1974,70
L2.4	458975,19	7833933,65	26	1980,73
L2.4	458999,67	7833912,58	27	1979,75
L2.4	459023,05	7833895,91	28	1974,65
L2.4	459042,46	7833873,81	29	1974,24
L2.4	459066,62	7833854,32	30	1971,22
L2.4	459106,82	7833824,00	32	1969,72
L2.4	459129,68	7833804,85	33	1969,62
L2.4	459152,27	7833786,80	34	1970,50
L2.4	459171,83	7833770,49	35	1976,12

Línea	Este	Norte	Estación	Elevación
	m	m		m
L3.1	428853,90	7809749,52	1	1293,90
L3.1	428879,78	7809748,29	2	1295,73
L3.1	428905,05	7809747,49	3	1295,01
L3.1	428929,98	7809747,09	4	1293,87
L3.1	428955,80	7809746,06	5	1294,75
L3.1	428980,36	7809745,32	6	1294,34
L3.1	429004,51	7809744,53	7	1291,30
L3.1	429029,60	7809743,59	8	1294,71
L3.1	429054,95	7809742,25	9	1296,21
L3.1	428688,56	7809767,28	29	1298,28
L3.2	428907,05	7810036,69	10	1297,70
L3.2	428932,72	7810035,83	11	1297,30
L3.2	428955,75	7810035,27	12	1297,89
L3.2	428982,56	7810034,66	13	1294,48
L3.2	429006,97	7810033,45	14	1296,21
L3.2	429033,67	7810033,39	15	1293,77
L3.2	429058,24	7810032,83	16	1298,95
L3.2	429081,91	7810032,14	17	1302,96
L3.2	428845,11	7810030,49	30	1303,76
L3.3	428795,80	7809907,56	18	1297,08
L3.3	428820,91	7809906,13	19	1295,55
L3.3	428844,29	7809904,43	20	1295,76
L3.3	428870,22	7809902,97	21	1295,46
L3.3	428896,46	7809901,75	22	1296,55
L3.3	428920,92	7809900,90	23	1296,30
L3.3	428943,90	7809900,07	24	1296,30
L3.3	428971,17	7809899,51	25	1295,90
L3.3	428995,85	7809898,96	26	1293,30
L3.3	429020,36	7809898,11	27	1299,18
L3.3	429043,25	7809894,08	28	1300,38