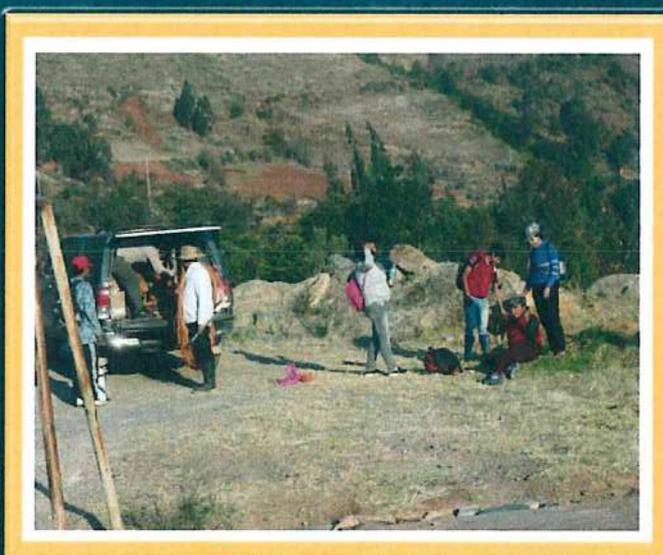
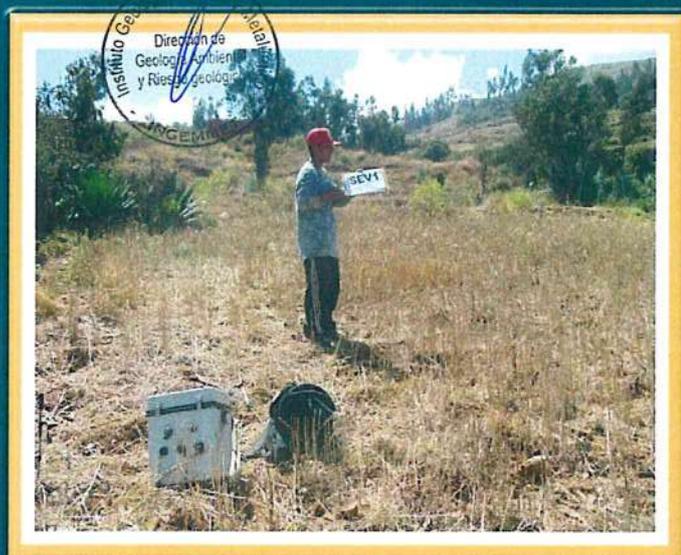


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6970

EVALUACIÓN GEOFISICA DEL DESLIZAMIENTO DE LA LOCALIDAD DE RETAMAYOC

Región Huánuco
Provincia Ambo
Distrito de Tomaykichwa



ENERO
2020

Contenido

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES	4
3. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	4
4. MÉTODO GEOFÍSICO	5
4.1. Fundamento físico del método de tomografía eléctrica.....	5
4.2. Tomografía Eléctrica-2D	6
4.3. Pseudo sección de resistividad aparente.....	7
4.4. Equipo Empleado (Fotografía N° 1).....	7
5. TRABAJO DE CAMPO	8
6. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	10
6.1. Trabajo de Gabinete	10
6.2. Tomografía -Sector Quebrada Retamayoc -Tomaykichwa.....	10
6.3. Sondeo Eléctrico Vertical -Tomaykichwa.....	19
CONCLUSIONES	21
RECOMENDACIONES.....	22
BIBLIOGRAFIA.....	23
ANEXO I.....	24
ANEXO II.....	25
ANEXO III.....	27
ANEXO IV.....	28

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Dispositivo para la medida de la resistividad del suelo
Figura N° 2: Esquema del montaje para la realización de un ERT

Figura N° 3: Ubicación del área del polígono y las líneas de tomografía Eléctrica y puntos de ensayos SEV.

Figura N° 4: Ubicación de la Línea de Tomografía LT-01

Figura N° 5: Interpretación de la Línea LT-01

Figura N° 6: Ubicación de la Línea de Tomografía LT-02.

Figura N° 7: Interpretación de la Línea LT -02.

Figura N° 8: Ubicación de la Línea de Tomografía LT-03

Figura N° 9: Interpretación de la Línea LT-03

Figura N° 10: Ubicación de la Línea de Tomografía LT-04.

Figura N°11: Interpretación de la Línea LT-04.

Figura N° 12: Mapa de ubicación del Proyecto.

Figura N° 13: Mapa de ubicación de los ensayos SEV y líneas tomográficas.

Figura N° 14: Perfil Geoelectrico A-A.

EVALUACIÓN GEOFÍSICA DEL DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA RETAMAYOC, DISTRITO TOMAYKICHWA, PROVINCIA AMBO Y REGIÓN HUÁNUCO

RESUMEN

El estudio de prospección geofísica fue realizado entre el 02 de enero al 09 de agosto del 2019 y fue cubierto en el área del deslizamiento en el sector Retamayoc (zona 1).

El estudio de tomografía Eléctrica y Sondeos Eléctricos Verticales-SEV, fue diseñado para que las líneas tengan un área aproximado de 2,400 m x 600 m, tres líneas tienen un rumbo de NW-SE, y la línea más grande con rumbo SW-NE, con una separación de 500 m entre líneas.

Se utilizaron un equipo geofísico de tomografía eléctrica y SEV de alta precisión, el Syscal Pro Swich 48. El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 mediciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente, que permite un mejor control de calidad de datos, a lo largo de las líneas de estudio.

Las lecturas fueron tomadas en la configuración dipolo-dipolo cada 40 metros.

Se tuvo un total de 3,480 m de longitud total de líneas y de 2088 lecturas. Se realizaron dos ensayos SEV con la configuración Schlumberger con AB=600 m.

Con la base de datos limpia de campo, se procedió a procesar la data mediante filtros y procesos adicionales y con la base topográfica integrada se elaboraron los perfiles con la finalidad de obtener las anomalías y los contactos geo resistivos que ayudan en la interpretación.

También se calculó el volumen de masa desplazada en el último evento ocurrido en la zona de estudio, tiene un volumen de 180,771 m^3 de masa desplazada.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) dentro de sus ámbitos de competencia y funciones, se encarga de “identificar, estudiar y monitorear los peligros geológicos”.

INGEMMET realiza esta labor dentro del marco del Acuerdo Nacional que en su capítulo III: “Competitividad del país, desarrolla el punto N°19: Desarrollo sostenible y gestión ambiental”.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) es el órgano de línea del INGEMMET que realiza investigaciones, programas y proyectos. A través de la Actividad 7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional, se brinda asistencia técnica a gobiernos locales y regionales en materia de peligros geológicos con el objetivo de reducir el riesgo de desastres en nuestro país.

El presente informe constituye el resultado de la Evaluación Geofísica del Deslizamiento de la localidad de Retamayoc, ubicado en el distrito de Tomaykichwa, provincia de Ambo, región Huánuco. A partir de aspectos técnicos, se analizaron los métodos geofísicos aplicados determinándose conclusiones y recomendaciones que ayuden a superar las consecuencias del evento geológico por movimientos en masa.

Los trabajos de campo de prospección geofísica consistieron en un levantamiento combinado de Tomografía Eléctrica y Ensayos de Sondeos Eléctricos Verticales-SEV, realizado entre los días 02 al 09 de agosto del 2019.

Para elaborar el presente documento se efectuaron dos etapas: campo y gabinete, la primera se efectuó acorde con la programación, mientras que la segunda constituyó el análisis e interpretación de los datos obtenidos en campo y la síntesis de los mismos.

2. ANTECEDENTES

La evaluación Geofísica se realizó a solicitud de la Municipalidad| Distrital de Tomaykichwa, quienes solicitaron de un principio al IGP mediante Oficio N°331-2019-MDT/A de fecha 27 de mayo del 2019, posteriormente mediante oficio N065-2019-IGP/J del 03 de junio del 2019 solicitaron al INGEMMET dicho estudio y estuvo a cargo de los Ings. Walter Pari Pinto y David Prudencio Mendoza y con el apoyo del Ing. Hugo Gomez Velasquez para el cálculo volumétrico de masas.

Se hicieron las coordinaciones con el alcalde de Tomaykichwa el Sr. Juan Aguirre Ávila, la Sra. Gloria Rojas encargada de Defensa Civil de la Municipalidad y la Sra. Victoria Cabrera Gerenta Municipal, con la finalidad de proveer la movilización y el personal de apoyo (ocho en total), para los trabajos de campo.

3. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio se ubica en el distrito de Tomaykichwa, en la margen derecha del río Huallaga, aproximadamente a 7 Km al norte de la capital provincial de Ambo, Departamento de Huánuco. Asentado en la Cordillera Oriental de los Andes del Perú. El sector evaluado se localiza al este

del centro poblado principal de Tomaykichwa. Su altura varía entre 2080 m.s.n.m. y 2780 m.s.n.m. En la coordenada central UTM (X: 367973.00 m E; y: 8886274.00m S).

Ruta	Tipo de Via	Km	Tiempo
Lima-Ambo-Tomaykichwa	Asfaltada	425	9:50 horas
Tomaykichwa-Retamayoc	Trocha	6.5	15 minutos

4. MÉTODO GEOFÍSICO

4.1. Fundamento físico del método de tomografía eléctrica.

Los métodos geofísicos de exploración, entre los que podemos mencionar el eléctrico de resistividad, miden una serie de propiedades físicas de objetos o estructuras en el subsuelo desde la superficie del terreno que las diferencian, del medio que las rodea.

Método Geofísico de Resistividad

La Figura muestra el principio fundamental de la medida de resistividad del suelo. Este consiste en inyectar una corriente continua entre el par de electrodos AB midiendo la tensión entre el par de electrodos MN. Para un medio homogéneo de resistividad, la diferencia de potencial es (Orellana, 1982):

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (1)$$

Donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre electrodos. La resistividad viene dada por la expresión:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Donde

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (3)$$

Es un factor geométrico que depende únicamente del arreglo de los electrodos.

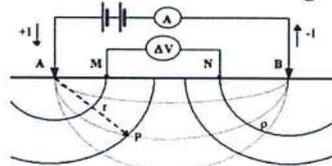


Figura 1 Dispositivo para la medida de la resistividad del suelo.

Arreglos Electrónicos básicos

En cualquier arreglo electrónico, si se conoce el factor geométrico, la corriente eléctrica inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, es posible determinar la resistividad aparente mediante la fórmula $\rho = k \frac{\Delta V}{I}$ (2) donde k es el factor

geométrico definido en la ecuación 3. En este trabajo se ha aplicado el arreglo o dispositivo Dipolo-Dipolo

El cuadro adjunto muestra las resistividades de algunos medios.

Cuadro 1: Resistividad del Agua y Rocas

Tipo de Agua y Roca	Resistividad (Ohm-m)
Agua del mar	0,2
Agua de acuíferos aluviales	10 – 30
Agua de fuentes	50-100
Arenas y gravas secas	1.000 - 10.000
Arenas y gravas con agua dulce	50 – 500
Arenas y gravas con agua salada	0,5 – 5
Arcillas	2 – 20
Margas	20 -100
Calizas	300 - 10,000
Areniscas arcillosas	50 – 300
Areniscas cuarcíticas	300 - 10,000
Cineritas, tobas volcánicas	50 – 300
Lavas	300 - 10,000
Esquistos grafitosos	0,5 – 5
Esquistos arcillosos o alterados	100 – 300
Esquistos sanos	300 - 3,000
Gneis, granito alterados	100 - 1,000
Gneis, granitos sanos	1,000 - 10,000

Fuente: Parasnis Principios de Geofísica Aplicada

4.2. Tomografía Eléctrica-2D

La Tomografía Eléctrica o ERT (Electrical Resistivity Tomography) es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de la resistividad dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno. Las profundidades de penetración de los métodos eléctricos están directamente relacionadas con la configuración geométrica de la adquisición, número y separación de los electrodos y dependen de la resistividad del medio.

Cuando se requiere conocer la variación lateral de una formación geológica, la distribución de una pluma de contaminación, oquedades, contactos verticales, etc., se recurre a la técnica de la

tomografía eléctrica; los arreglos utilizables para esto método (por escoger en función de la aplicación) son Dipolo-Dipolo, Polo Dipolo, Polo Polo, Wenner Shlumberger, etc.

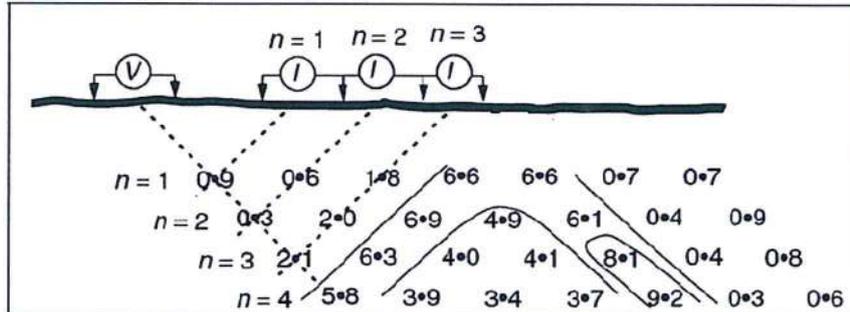


Figura 2: Esquema del montaje para la realización de un ERT.

4.3. Pseudo sección de resistividad aparente

Cuando se desea registrar la resistividad aparente del subsuelo, a partir de datos procedentes de un dispositivo geo eléctrico, de manera que queden registradas las variaciones laterales y verticales de dicho parámetro (modelo 2-D), se suele construir gráficamente lo que se denomina una "Pseudo-sección".

El método ofrece ventajas como:

Alcanzan mejor resolución en profundidad y su penetración es levemente más profunda a fin de observar con mayor detalle el subsuelo.

Colecta datos de resistividad en 2D, usando un sistema de adquisición para 10 canales.

4.4. Equipo Empleado (Fotografía N° 1)

Sistema Syscal Pro 48 Switch de Iris Instruments-Francia
 10 canales - electrodos de potencial y de Corriente

4.4.1 Características del Equipo Geofísico: tipo PSYSCAL pro 48.

Trasmisor:

- Voltaje: 0-2,000 Vp
- Corriente: 0-2,500 mA
- Baterías: 12 V (Internas y externa).

Receptor:

- Dirección de Pulso: 250 ms, 500 ms, 1, 2, 4 y 8 ms.
- Canales: 10 entradas
- Impedancia de entrada: 100 Mohms
- Resolución/Exactitud: 1 uV/0.2%
- Temperatura de operación: -20°C a +70°C

Para el desarrollo de las actividades de prospección en campo se ha utilizado el siguiente equipo:

Resistivímetro modelo PSYSCAL PRO 48 SWITCH de la INSTRUMENTS IRIS.



Fotografía 1: Equipo de Tomografía Eléctrica Syscal Pro Switch 48

5. TRABAJO DE CAMPO

Los trabajos de campo se realizaron del 02 al 09 de agosto del 2019, y consistieron en la ejecución de cuatro (4) líneas geofísicas tomográficas (figura 3) que cubrieron un total de 3,480 m de longitud y espaciados entre nodo a nodo cada 40 m, aplicando la configuración dipolo-dipolo.

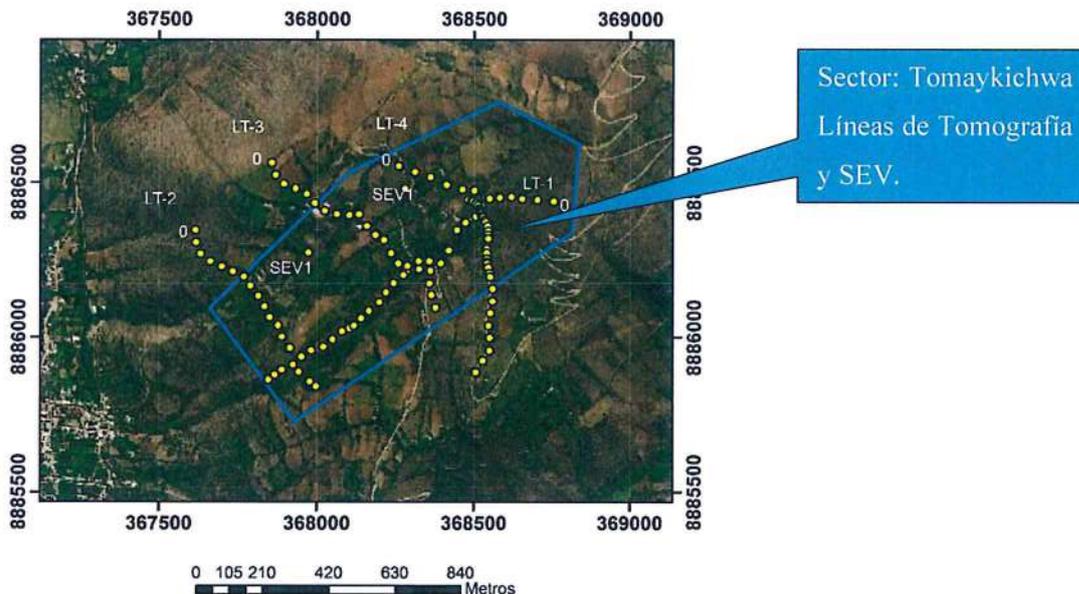


Figura 3. Ubicación del área del polígono y las líneas de tomografía Eléctrica y de ensayos SEV. La información de campo registrada es procesada, analizada e interpretada rigurosamente en gabinete; las características físicas de las formaciones geológicas del sector fueron obtenidas de la información proporcionada por el Mapa Geológico a la escala 1:100 000, de la Carta Geológica

Nacional del INGEMMET Serie "A" – N° 77 (hoja 21-k-Ambo), y el reconocimiento y levantamiento geológico del área de estudio.

Equipo de campo empleado en la campaña geofísica fue:

Tabla 1: Equipos utilizados en la campaña Geofísica

Equipo	Resistivimetro Syscal Pro Swicht 48 Iris Instruments
Accesorios	Composición de cables para 10 canales Multicanales de 10 canales 40 estacas aceradas con clips 1 GPS Garmin 1 batería externa 12 v. 3 Combas, Cinta Métrica, Cinta Aislante, Corta Cable 1 Cámara fotográfica, Calculadora Laptop HP

Las ubicaciones de los SEV y líneas de tomografía ejecutadas en el área de estudio se muestran las siguientes tablas:

Tabla 2: Ubicación de los ensayos SEV - Datum WGS 84 – Zona 18

SECTOR	SEV	Coordenadas	
		Este	Norte
TOMAYKICHWA	SEV-01	367975	8886272
	SEV-02	368280	8886481

Fuente: GPS-Garmin Ubicación SEV- 2019.

Tabla 3: Ubicación de la línea de Tomografía Eléctrica - Datum WGS 84 – Zona 18

Perfiles de Tomografía Eléctrica.	Coordenadas				Longitud (m)
	Inicio		Fin		
	Este	Norte	Este	Norte	
LTM-01	368758	8886442	367844	8885866	1,280
LTM-02	367614	8886348	367993	8885841	680
LTM-03	367860	8886564	368377	8886096	760
LTM-04	368260	8886564	368503	8885887	760
				TOTAL	3,480

6. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

6.1. Trabajo de Gabinete

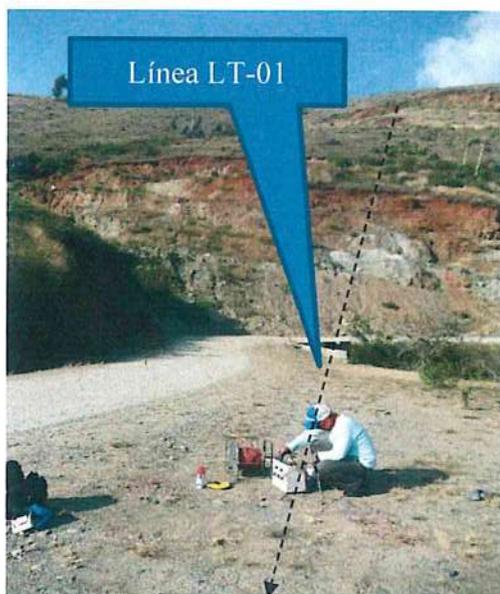
La información de campo registrada es procesada, analizada e interpretada rigurosamente en gabinete; las características físicas de las formaciones geológicas fueron correlacionadas con la información geológica existente. La información es procesada por un software especializados de I.P – Tomografía Eléctrica, RES2INV, con conocimiento de los parámetros geo resistivos y la geología, amplio sustento teórico, y experiencia para su interpretación, siendo ésta etapa la más compleja, para llegar a resultados óptimos, como producto final se obtienen secciones, perfiles representando a las zonas anómalas de interés y/o la geometría subterránea del corte geológico del área estudiada.

Para este fin utilizamos el Software Res2DINV para las inversiones que permite trabajar sobre las medidas de resistividad aparente obtenidas en campo y aplicando una serie de algoritmos (inversión), obtenemos secciones con la resistividad verdadera del área de estudio.

6.2. Tomografía -Sector Quebrada Retamayoc -Tomaykichwa.

6.2.1 SECCIÓN LT-1

Se realizó una sección perpendicular a la quebrada principal utilizando la componente dipolo-dipolo. Ubicada desde la corona del deslizamiento hasta el pie en la parte baja inferior del deslizamiento. La longitud total de la sección de 1,280 metros, separando los electrodos cada 40 metros a lo largo de 10 canales. (Figura 4). El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.



En la figura se muestra el alineamiento de la línea LT-01 desde la corona del deslizamiento en la parte superior perpendicular a la dirección de flujo de la quebrada principal. Realizamos un perfil de una longitud de 1,280 metros, llegando a caracterizar a profundidad una anomalía geo eléctricas relacionadas a una discontinuidad geo eléctrica y la profundidad de la roca alterada donde yace el material no consolidado (bloques y arenas con limos), asimismo muestra la ubicación de posibles zonas de filtraciones de agua (Zona de muv

Figura 4. Ubicación de la línea de tomografía LT-01

- **Muy Baja Resistividad (Capa celeste):**

Presenta valores de entre $\rho_a=1.1$ Ohm-m a $\rho_a=60.5$ Ohm-m, representan zonas húmedas y/o con filtraciones de agua (anomalía A) y o con material arcilloso, muy fino y conductivo, se presentan como focos de anomalías pequeños tres zonas de filtraciones de agua relacionadas a muy baja resistividad ubicadas a profundidades de 30 a 35 m en los puntos 460 m, 720 m y 800 m. con espesores de entre 5 a 30 metros.

- **Baja a Moderada Resistividad (Capa amarilla)**

Presenta valores de entre $\rho_a=60.5$ Ohm-m a $\rho_a=874$ Ohm-m, corresponden al material sub-superficial de coluviales, arenoso con fragmentos rocosos, gravas y limos (material no consolidado tienen espesores variables de entre 10 a 95 m, esta zona gruesa se localiza entre el punto 960 del perfil hasta los 1000 m. A partir de los 200 m hasta e los 280 m del perfil se puede observar una zona anómala A, denominada discontinuidad geo eléctrica de resistividades moderadas a bajas debido a presencia de material no consolidado y a material alterado muy fracturado (zona debilitada), a este sector de le denomina zona de deslizamiento reactivado por corte de talud.

- **Moderada a Alta Resistividad (Capa naranja)**

Con valores de entre $\rho_a=874$ Ohmio-m a $\rho_a=3325$ Ohmio-m, corresponden a una zona de roca muy alterada y/o muy fracturada, estas rocas se consideran de mala calidad geotécnica. Se localizan a lo largo de toda la sección donde se observa una depresión de su geoforma en la zona anómala A y otra a partir de del punto 960 m hasta el final de la sección y con profundidades de hasta 90 m.

- **Alta Resistividad (Color rojo)**

Valores máximos de resistividad $> \rho_a=3325$ Ohm-m, corresponden a la zona de material más denso está relacionada a la presencia de roca más densa compacto. Se localizan desde los 80 m hasta 128 m, y de entre 320 a 730 m y otro tramo entre 850 a 880 m del perfil y yace mayormente a somera profundidades de entre 48 a 90 m. (Figura 5).

LINEA TOMOGRAFIA LT-1

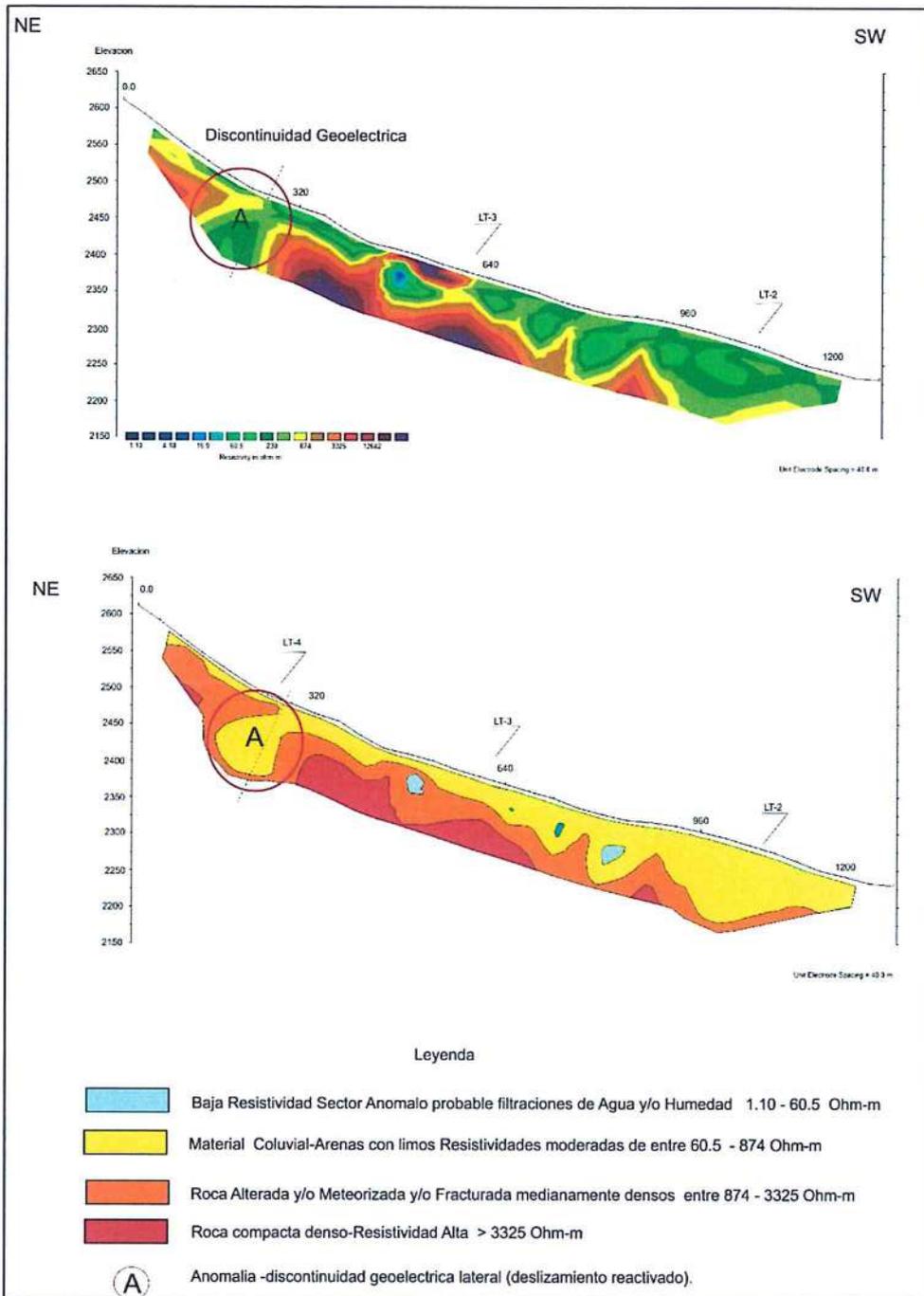
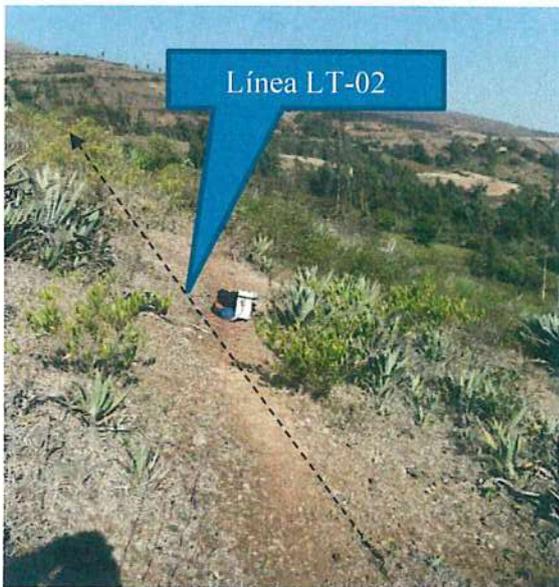


Figura 5: Interpretación Línea LT-01. Arriba: Perfil de tomografía eléctrica donde se observan resistividades que caracterizan los diferentes materiales con aparente variación lateral y donde existe una "zonas de discontinuidad". Abajo: Interpretación del perfil geofísico con la información

geológica de superficie, podemos ver dos discontinuidades de Resistividad (bajas a moderadas resistividades), en contacto con la zona de material más consolidado y más resistivo.

6.2.2 SECCIÓN LT-2

Se realizó una sección perpendicular a la Línea LT-1, utilizando la componente dipolo-dipolo. Ubicada en la parte inferior del deslizamiento. La longitud total de la sección de 680 metros, separando los electrodos cada 40 metros a lo largo de 10 canales. (Figura 6). El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.



Muestra el alineamiento de la línea LT-02 con vista hacia el SE, en la parte baja del deslizamiento. Realizamos un perfil de una longitud de 680 metros, llegando a caracterizar a profundidad una anomalía geo eléctrica relacionadas a una discontinuidad geo eléctrica y la profundidad de la roca alterada donde yace el material no consolidado (bloques y arenas con limos), asimismo muestra la ubicación de posibles zonas de filtraciones de agua (Zona de muy baja resistividad).

Figura 6. Ubicación de la línea de tomografía LT-02.

- **Muy Baja Resistividad (Capa celeste):**

Presenta valores de entre $p_a=1.1$ Ohm-m a $p_a=60.5$ Ohm-m, representan zonas húmedas y/o con filtraciones de agua (anomalía B) y/o con material arcilloso y/o material muy fino y conductivo, se presenta como un foco puntual que corresponde a una zona reducida de baja resistividad, ubicada a profundidades de 100 m entre 370 a 380 m.

- **Baja a Moderada Resistividad (Capa amarilla)**

Presenta valores de entre $p_a=60.5$ Ohm-m a $p_a=874$ Ohm-m, corresponden al material al material de coluviales, arenoso con fragmentos rocosos, gravas y limos (material no consolidado tienen espesores variables de entre 20 a 45 m, esta zona se localiza entre los puntos 300 hasta 640 m del perfil. En el punto 450 a 480 m se puede observar un geoforma oblicua hacia la zona de la anomalía B, denominada discontinuidad geo eléctrica de resistividades moderadas a bajas donde se ensancha a profundidades de 60 a 70 metros entre 320 a 480 m.

- **Moderada a Alta Resistividad (Capa naranja)**

Con valores de entre $\rho_a=874$ Ohm-m a $\rho_a=3325$ Ohm-m, corresponden a una zona de roca muy alterada y/o muy fracturada, estas rocas se consideran de mala calidad geotécnica. Se localizan a partir del punto inicial de la línea sector noroeste del perfil hasta el punto 310 m y a profundidades someras de 5 m.

- **Alta Resistividad (Color rojo)**

Valores máximos de resistividad $> \rho_a=3325$ Ohm-m, corresponden a la zona de material más denso está relacionada a la presencia de roca más densa compacto. Se localizan desde el inicio hasta el punto 160 a profundidades de 30 a 40 m 240 a 320 m a profundidades de 110 m (Figura 7).

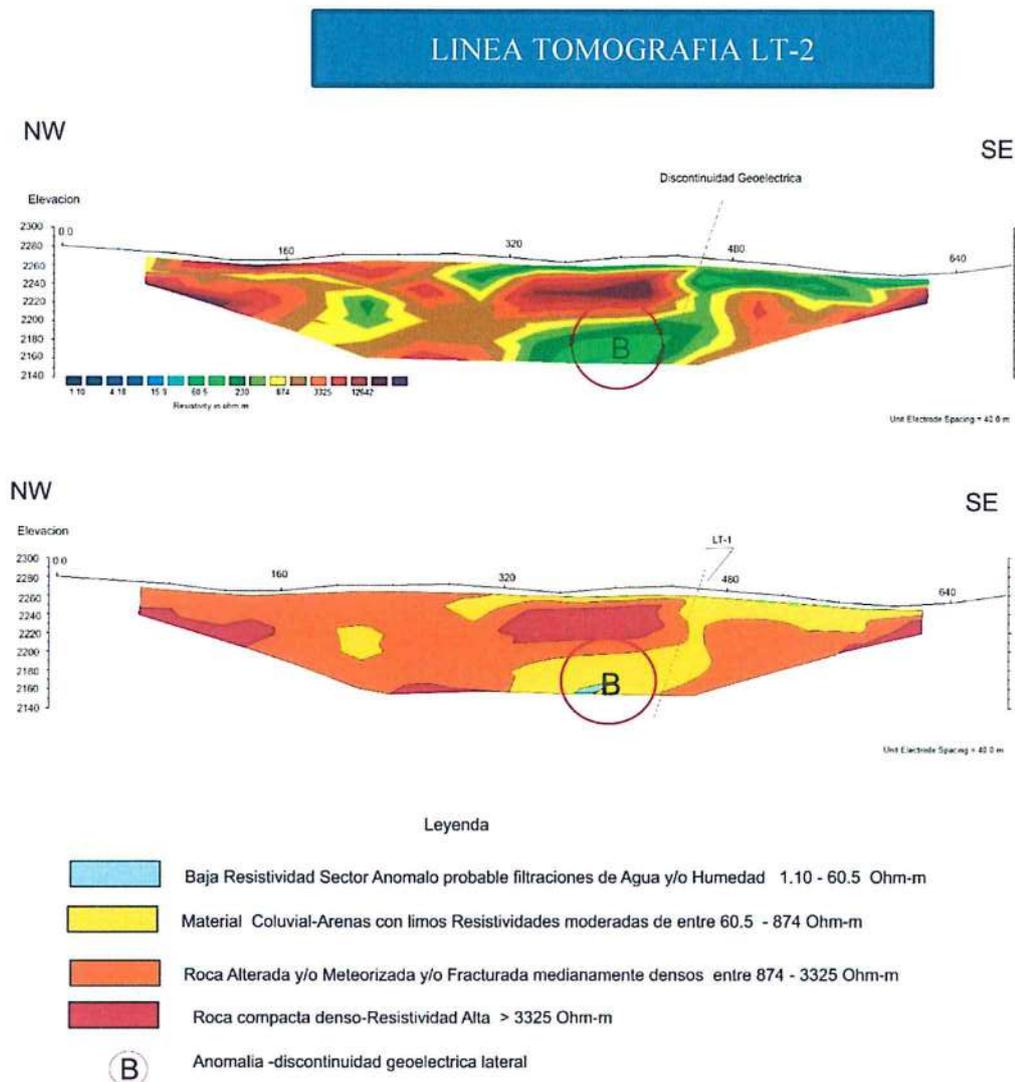


Figura 7: Interpretación Línea LT-02. Configuración Dipolo-Dipolo. Arriba: Perfil de tomografía eléctrica donde se observan resistividades que caracterizan los diferentes materiales con

aparente variación lateral y donde existe una “zonas de discontinuidad”. Abajo: Interpretación del perfil geofísico con la información geológica de superficie, podemos ver una discontinuidad de Resistividad (bajas a moderadas resistividades), en contacto con la zona de material más consolidado y más resistivo.

6.2.3 SECCIÓN LT-3

Se realizó una sección perpendicular a la Línea LT-1, utilizando la componente dipolo-dipolo. Ubicada en la parte media del deslizamiento. La longitud total de la sección de 760 metros, separando los electrodos cada 40 metros a lo largo de 10 canales. (Figura 8). El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.

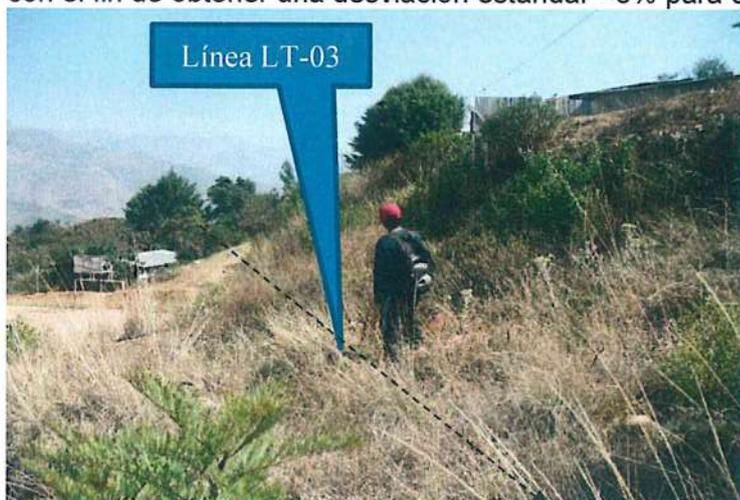


Figura 8. Ubicación de la línea de tomografía Eléctrica LT-3

Muestra el alineamiento de la línea LT-3 con vista hacia el NW, en la parte media del deslizamiento. Realizamos un perfil de una longitud de 760 metros, llegando a caracterizar a una anomalía geo eléctricas relacionadas a una discontinuidad geo eléctrica y la profundidad de la roca alterada donde yace el material no consolidado (bloques y arenas con limos), asimismo también se muestra la ubicación de posibles zonas de filtraciones de agua (Zona de muy baja resistividad).

- **Muy Baja Resistividad (Capa celeste):**

Presenta valores de entre $\rho_a=1.1$ Ohm-m a $\rho_a=60.5$ Ohm-m, representan zonas húmedas y/o con filtraciones de agua (anomalía C) y/o con material arcilloso y/o material muy fino y conductivo, se presenta como focos puntuales que corresponde a una zona reducida de baja resistividad, ubicados a profundidades de 30 m entre 370 a 380 m y entre 78 a 86 m y otra entre 608 a 635 m y otra muy limitada en el punto 176 m.

- **Baja a Moderada Resistividad (Capa amarilla)**

Presenta valores de entre $\rho_a=60.5$ Ohm-m a $\rho_a=874$ Ohm-m, corresponden al material al material de coluviales, arenoso con fragmentos rocosos, gravas y limos (material no consolidado tienen espesores variables de entre 12 a 52 m, esta capa abarca todo el contorno del perfil tomográfico.

En el punto 320 a 400 m se puede observar un geoforma vertical hacia la zona de la anomalía C, denominada discontinuidad geo eléctrica de resistividades moderadas a bajas.

• **Moderada a Alta Resistividad (Capa naranja)**

Con valores de entre $\rho_a=874$ Ohmio-m a $\rho_a=3325$ Ohmio-m, corresponden a una zona de roca muy alterada y/o muy fracturada, estas rocas se consideran de mala calidad geotécnica. Se localizan a partir del punto inicial de la línea sector noroeste del perfil hasta el punto final del perfil y a profundidades irregulares de entre 12 m. a 52 m.

• **Alta Resistividad (Color rojo)**

Valores máximos de resistividad $> \rho_a=3325$ Ohm-m, corresponden a la zona de material más denso está relacionada a la presencia de roca. Se localizan entre los puntos 120 m a 280 m y entre 520 m a 648 m a profundidades de 90 a 110 m (Figura 9).

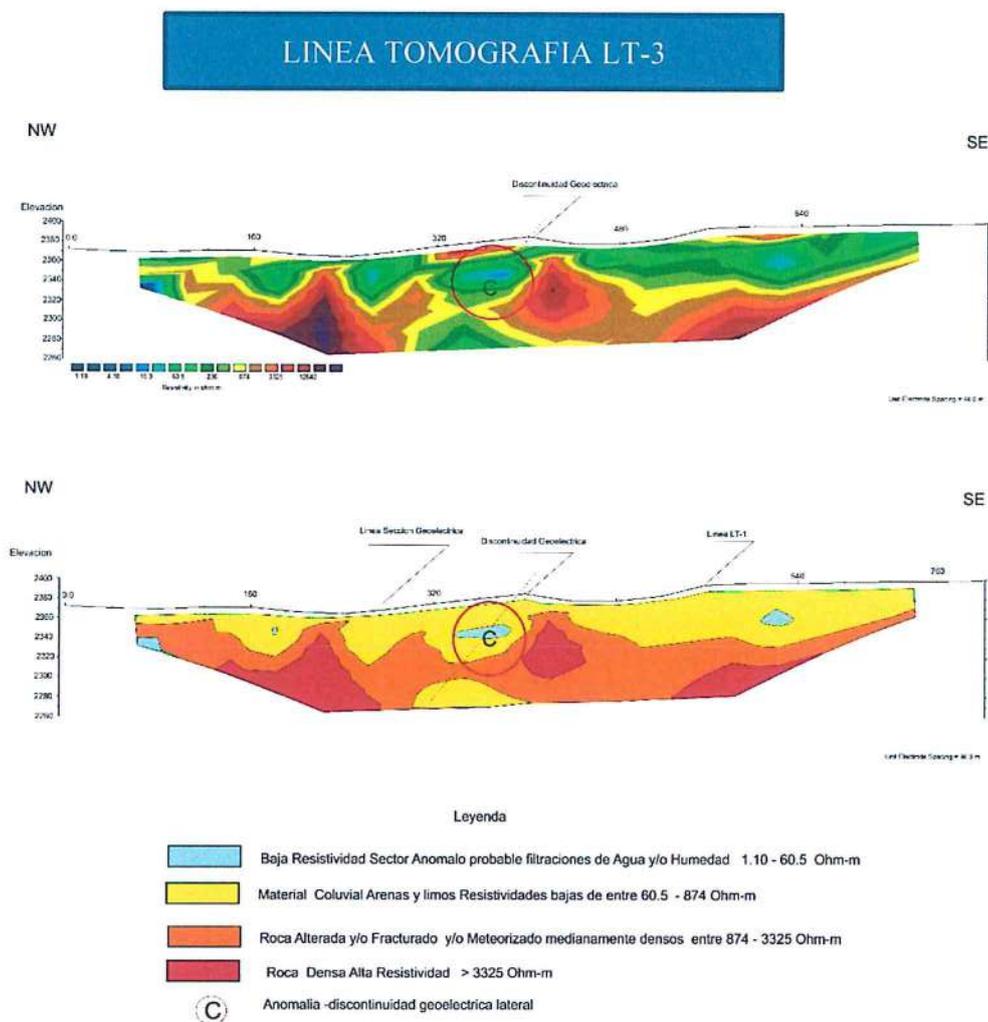
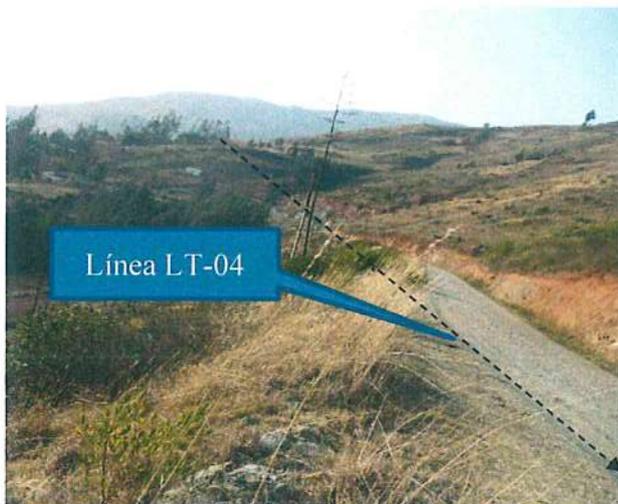


Figura 9: Interpretación Línea LT-03- Configuración Dipolo-Dipolo. Arriba: Perfil de tomografía eléctrica donde se observan resistividades que caracterizan los diferentes materiales con

aparente variación lateral en el sector central del perfil y donde existe una “zonas de discontinuidad”. Abajo: Interpretación del perfil geofísico con la información geológica de superficie, podemos ver correlacionar las resistividades (bajas a moderadas), en contacto con la zona de material más consolidado y más resistivo (alta resistividad).

6.2.4 SECCIÓN LT-4

Se realizó una sección perpendicular a la Línea LT-1, utilizando la componente dipolo-dipolo. Ubicada en la parte superior del deslizamiento. La longitud total de la sección de 760 metros, separando los electrodos cada 40 metros a lo largo de 10 canales. (Fotografía 10). El tiempo de inyección de corriente fue de 1 segundo y un mínimo de 3 iteraciones repetidas en cada punto con el fin de obtener una desviación estándar <3% para cada valor de resistividad aparente.



Muestra el alineamiento de la línea LT-4 con vista hacia el NW, en la parte alta del deslizamiento. Realizamos un perfil de una longitud de 760 metros, llegando a caracterizar a profundidad una anomalía geo eléctricas relacionadas a una zona de depresión entre los puntos discontinuidad geo eléctrica y la profundidad de la roca alterada donde yace el material no consolidado (bloques y arenas con limos), asimismo también se muestra la ubicación de posibles zonas de filtraciones de agua (Zona de muy baja resistividad).

Figura 10. Ubicación de la línea de tomografía Eléctrica LT-04.

- **Muy Baja Resistividad (Capa celeste):**

Presenta valores de entre $\rho_a=1.1$ Ohm-m a $\rho_a=60.5$ Ohm-m, representan zonas húmedas y/o con filtraciones de agua y/o con material arcilloso y/o material muy fino y conductivo, se presenta como focos puntuales que corresponde a una zona reducida de baja resistividad, ubicados a profundidades de 20 m a 30 m. ubicados en el sector noroeste de la sección.

- **Baja a Moderada Resistividad (Capa amarilla)**

Presenta valores de entre $\rho_a=60.5$ Ohm-m a $\rho_a=874$ Ohm-m, corresponden al material al material de coluviales, arenoso con fragmentos rocosos, gravas y limos (material no consolidado tienen espesores variables de entre 12 a 70 m. La figura 7, muestra una variación lateral de la resistividad, a partir de los 320 m hasta los 390 m del perfil se puede observar una zona anómala denominada discontinuidad geoelectrica de resistividades moderadas a bajas (anomalía C) debido a presencia de material no consolidado y a material alterado muy fracturado (zona de deslizamiento reactivado por corte de talud), que se profundiza y además se ha determinado que todo el paquete coluvial abarca todo el contorno del perfil tomográfico

- **Moderada a Alta Resistividad (Capa naranja)**

Con valores de entre $\rho_a=874$ Ohm-m a $\rho_a=3325$ Ohm-m, corresponden a una zona de roca muy alterada y/o muy fracturada, estas rocas se consideran de mala calidad geotécnica. Se localizan a partir del punto 140 m del perfil hasta el punto final del perfil y a profundidades de entre 20 m. a 60 m (sector de la Anomalía D).

- **Alta Resistividad (Color rojo)**

Valores máximos de resistividad $> \rho_a=3325$ Ohm-m, corresponden a la zona de material más denso está relacionada a la presencia de roca. Se localizan entre los puntos 160 m a 630 m se presenta a profundidades de 40 a 120 m (Figura 11).

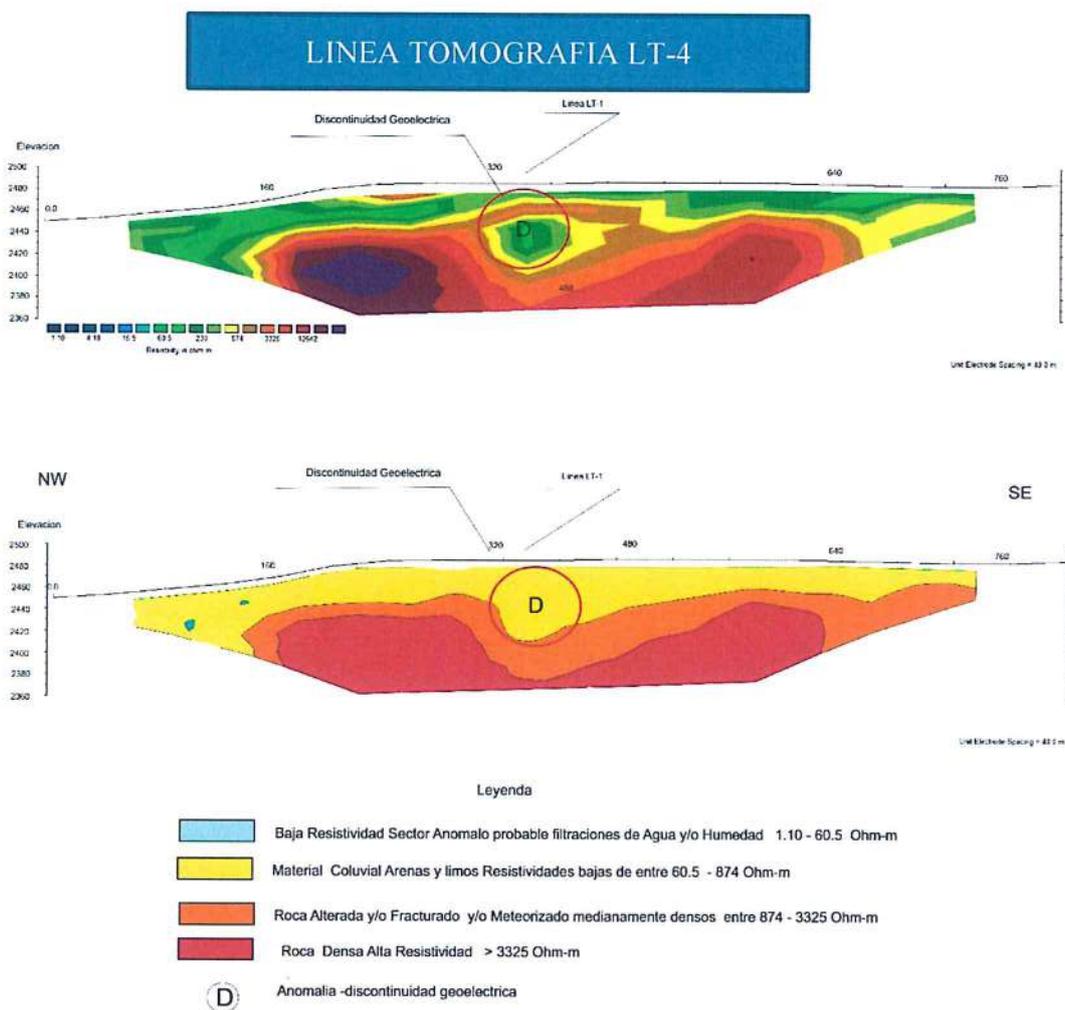


Figura 11: Interpretación Línea LT-02 . Arriba: Perfil de tomografía eléctrica donde se observan resistividades que caracterizan los diferentes materiales con aparente variación lateral en el sector central del perfil y donde coincide con la intercepción de la línea LT-1 con una “zona de discontinuidad”. Abajo: Interpretación del perfil geofísico con la información geológica de superficie, podemos ver correlacionar las resistividades (bajas a moderadas), en contacto con la

zona de material más consolidado y más resistivo (alta resistividad), que corresponde a la roca cuya geoforma en profundidad forma una depresión entre los puntos 320 a 390 m.

6.3. Sondeo Eléctrico Vertical -Tomaykichwa.

El resultado de la interpretación cuantitativa de los sondeos eléctricos verticales–SEVs, se muestra en el Cuadro N° 2, donde se observan valores de resistividades eléctricas y espesores de las diferentes capas que conforman el relleno suelto en el área de estudio. Las determinaciones de espesores y resistividades en estos puntos pueden tener errores de hasta del 10–15 %. Las curvas interpretadas se muestran en los Anexos.

Cuadro 2: Resultados de la interpretación de los sondajes eléctricos verticales.

SONDAJE	HORIZONTE 1		HORIZONTE 2		HORIZONTE 3		HORIZONTE 4		HORIZONTE 5	
	ρ_1	Espesor	ρ_2	Espesor	ρ_3	Espesor	ρ_4	Espesor	P5	Espesor
SEV-01	78	4.1	171	26.6	233	19.2	2133	63	8776	--
SEV-02	107	2.1	10	2.3	142	54	1123	76	7223	--

ρ = Resistividad Geoeléctrica (Ω -m)

E= Espesor de la capa en metros

6.3.1 SECCION GEOELÉCTRICA

Basado en los resultados obtenidos de los Sondeos Eléctricos Verticales–SEVs, se ha elaborado una sección geo eléctrica, cuyo análisis permitirá inferir y conocer las características y condiciones de las diferentes capas u horizontes que conforman el subsuelo en el área investigada.

6.3.1.1 SECCION GEOELECTRICA A-A'

Comprendida por los sevs 01 y 02 (Lamina N°1); se distribuyen en una sección geoeléctrica y se encuentra ubicada entre las líneas LT-3 t LT-4.

Este corte del subsuelo está conformado por cinco (05) horizontes o capas geoeléctricas, cuyas características y condiciones se describen a continuación:

HORIZONTE 1

Primer horizonte determinado en la zona de estudio y se aprecia en la parte superficial, el mismo que presenta espesor de entre 2.1 a 4.1 m. y resistividades de entre 78 a 107 Ohm. m.

Compuesto por suelos recientes de recubrimiento de arenas y limos con gravas que incluye el material de vegetal de 0.50 m.

HORIZONTE 2

Presenta resistividades del orden de los 10 Ohm. m. y espesor de 2.3 metros de espesor. Conformada por material con granulometría fina y/o con contenido de elementos conductivos y/o filtraciones de agua.

HORIZONTE 3

Presenta resistividades bajas de entre 142 a 233 Ohm. m. y espesores de entre 45.8 metros a 54 metros de espesor. Conformada por el material de moderada resistividad- mayormente inconsolidado y/o poco denso – escombros de bloques de grava, guijarrosa con clastos subangulosos - Depósitos coluviales.

HORIZONTE 4

Cuarto horizonte determinado en la zona de estudio, el mismo que presenta espesor de entre 63 a 76 m. y resistividades altas de entre 1123 a 2133 Ohm. m.

Compuesto por la roca (Metamórfica) muy alterada y/o fracturada.

HORIZONTE 5

Quinto horizonte determinado en la zona de estudio y no se aprecia espesores debido a que la curva de resistividades se limita hasta esta profundidad de investigación, presenta resistividades altas de entre 7223 a 8776 Ohm. m.

Compuesto por el material compacto más denso – Roca metamórfica.

Con la información tomada en campo y luego del procesamiento de la información se ha calculado el volumen aproximado que es el 24'209,442 m³ de masa de material coluvial conformada por arenas y limos de resistividades bajas entre 60.5 a 874 Ohm. m., que forma parte de la masa susceptible a que pueda desplazar ladera abajo, se observa claramente en los perfiles que se muestran paginas arriba, que la masa inestable presenta una profundidad que varía de 10 m hasta 80 m, más el área que se cartografía como deslizamiento antiguo en el informe técnico N° A6943 elaborado por el Ingemmet, 2019.

También se ha calculado del volumen de masa desplazada en el último evento ocurrido en la zona de estudio, que presenta un volumen de 180,771 m³ de masa desplazada.

CONCLUSIONES

1..

- a) El estudio Geofísico de Tomografía Eléctrica del sector de la quebrada Retamayoc del distrito de Tomaykichwa de la provincia de Ambo-Región Huánuco, ha permitido determinar, cuatro sectores:
- Sector (A): Muy Baja resistividad, corresponde a Zonas húmedas y/o con filtraciones de agua y/o con granulometría fina con valores de resistividades menores a 60.5 Ohm-m.
 - Sector (B): Corresponden a un material coluvial – Resistividad baja a moderada de entre 60.5 a 874 Ohm-m.
 - Sector (C): Corresponden a la roca alterada y/o fracturadas, son de mala calidad geotécnica de moderada a alta resistividad con valores de resistividad de entre 874 a 3325 Ohm-m.
 - Sector (D): Alta Resistividad corresponde a la capa más densa-roca compacta, con resistividades mayores a 3325 Ohm-m.
- b) De la interpretación geofísica de las dos Líneas de Tomografía Eléctrica LT-1 y LT-4, se ha determinado una Anomalía, ubicada en la Línea LT-4 entre 320 m hasta los 390 m del perfil LT-4 y a profundidades de 12 a 70 metros y es concordante la zona anómala de la línea LT-1 donde se localiza a partir de los 200 m hasta los 280 m del perfil, se puede observar una zona anómala A, denominada discontinuidad geo eléctrica de resistividades moderadas a bajas debido a presencia de material no consolidado y a material alterado muy fracturado (deslizamiento reactivado por corte de talud).
- c) Del análisis de las líneas de tomografía se ha determinado zonas puntuales de muy baja resistividades que corresponden a zonas húmedas y/o con filtraciones de agua y/o con granulometría fina, estos halos resistivos muy probable podría ser producto de la escorrentía de agua de regadío por gravedad por canales sin revestimiento en la parte alta e intermedia del área de estudio.
- d) Se han ejecutado dos (02) Sondeos Eléctricos Verticales–SEVs, adicionales y se ha determinado la capa suprayacente con resistividades e entre 142 a 233 Ohm-m y espesores de entre 45.8 a 54 metros corresponde al material aluvial con inclusión de fragmentos rocosos grandes concordantes a la intercepción a la línea LT-3, la misma que se ha correlacionado con sus resistividades y que coincide con el espesor del paquete coluvial en contraste con la roca infrayacente.


Ing. TEÓFILO WALTER PARI PINTO
Especialista en Peligros
Geológicos
INGEMMET

RECOMENDACIONES

- a) Realizar ensayos MASW (Análisis Multiespectral de Ondas de corte) y Refracción Sísmica con mayor detalle en la zona de deslizamiento reactivado por corte de talud, a fin de poder definir con mayor precisión la cohesión de los materiales en profundidad.
- b) Caracterizar las capas de la interpretación geofísica con métodos directos. Porque los métodos geofísicos geoelectrónicos empleados, corresponden a ensayos indirectos, basados en la emisión y recepción de ondas eléctricas y que tiene un grado de aproximación aceptable, sin embargo este grado de aproximación de las características de los estratos reportados, debe ser corroborado con información complementaria, mediante prospecciones directas tales como: perforaciones con diamantina DDH, calicatas, SPT, etc. A fin de tener un control de investigación litológico-geofísico.



Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET



Ing. TEÓFILO WALTER PARI PINTO
Especialista en Peligros
Geológicos
INGEMMET

BIBLIOGRAFIA.

COBBING, J., QUISPESIVANA, L; PAZ, M. (1996). "Geología de los Cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores". Servicio de Geología y Minería. Boletín N°77 – Carta Geológica Nacional- Serie "A"- Instituto Geológico Minero y metalúrgico.244. p. Lima-1996.

DAVILA B.J. (1999) Diccionario Geológico Tercera Edición.

DELGADO, F.; CHAGUA, J. (2012) Evaluación INGENIERO Geológica del Deslizamiento de Chinchubamaba, Distrito de Tomaykichwa, Provincia de Ambo, Región Huánuco INGEMMET. Informe Técnico N°A6613. 54p.

IRIS INSTRUMENTS (2006). "Resistivity Imaging Magnetic Resonance, Induced Polarization, Electromagnetics, Data Loggers" en Catálogo Environmet engineering groundwater mineral exploration. Orleans. France. p 45.

LOKE, M. H. (2001). Tutorial: 2-D y 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Malasia

NUÑEZ, J. S. (2019) "Evaluación de Peligros Geológicos de los sectores de Retamayoc, Ayaucan, Armatanga y Chinchubamba"- Informe técnico N°A6970-de la DGAR- INGEMMET, Lima.2019. P.43.

ORELLANA, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid.

PARI P. W. (2014). "Prospección Geofísica aplicando el Método de Tomografía Eléctrica en el área del distrito de el agustino, Lima" – Informe Técnico N°A6651 de la DGAR del INGEMMET. Lima. 2014. P.17.

SOSA, N. (2016). Análisis de Susceptibilidad a los Peligros Geológicos por Movimientos en Masa-Poblados Pampamarca y Acobamba, Región Huánuco(Tesis de Pregrado).Universidad Nacional del altiplano, Puno, Perú.

ANEXO I



Figura N° 12: Mapa de Ubicación del Proyecto

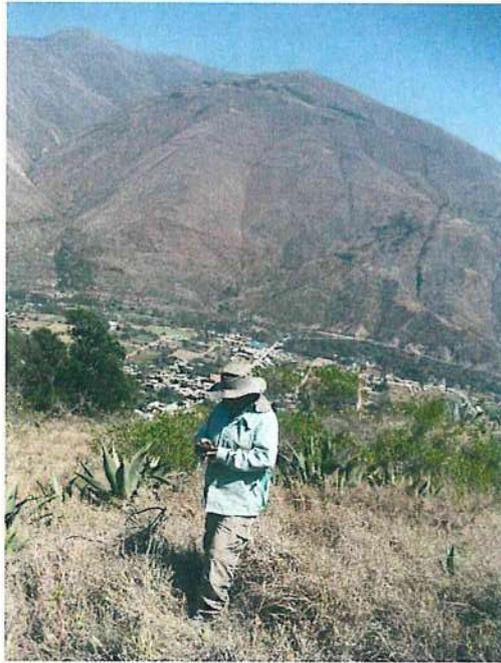
ANEXO II Panel Fotográfico



Fotografía N° 1: Se observa la ubicación del ensayo SEV N°01



Fotografía N° 2: Ubicación del ensayo SEV N°02 con la configuración Schlumberger



Fotografía N° 3: Se observa la ubicación de la línea tomografía LT-1 alineada hacia abajo en el eje principal.

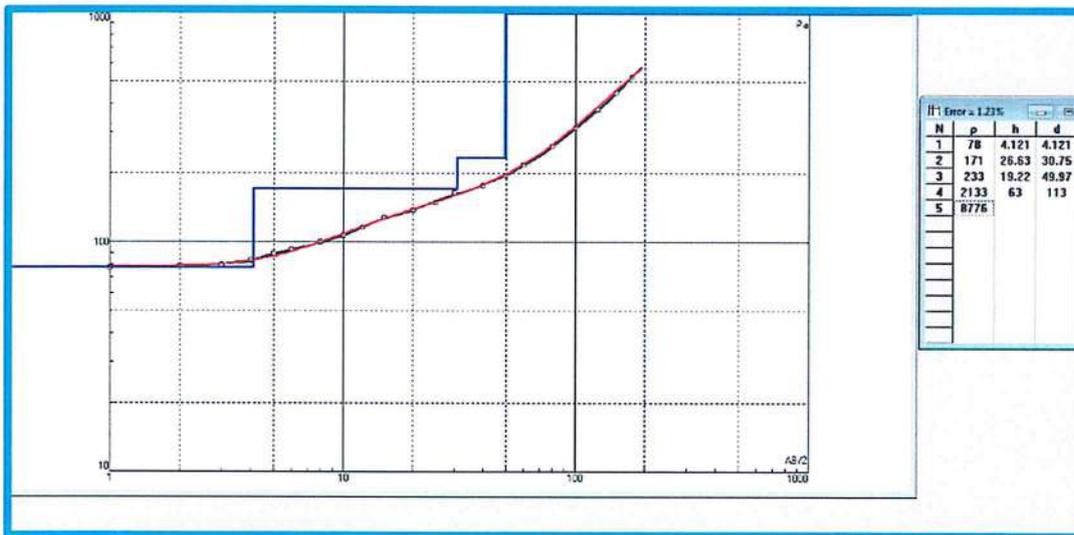


Fotografía N° 4: Registro de uno de los puntos de la Línea de Tomografía Eléctrica LT-4 con la Configuración Dipolo-Dipolo.

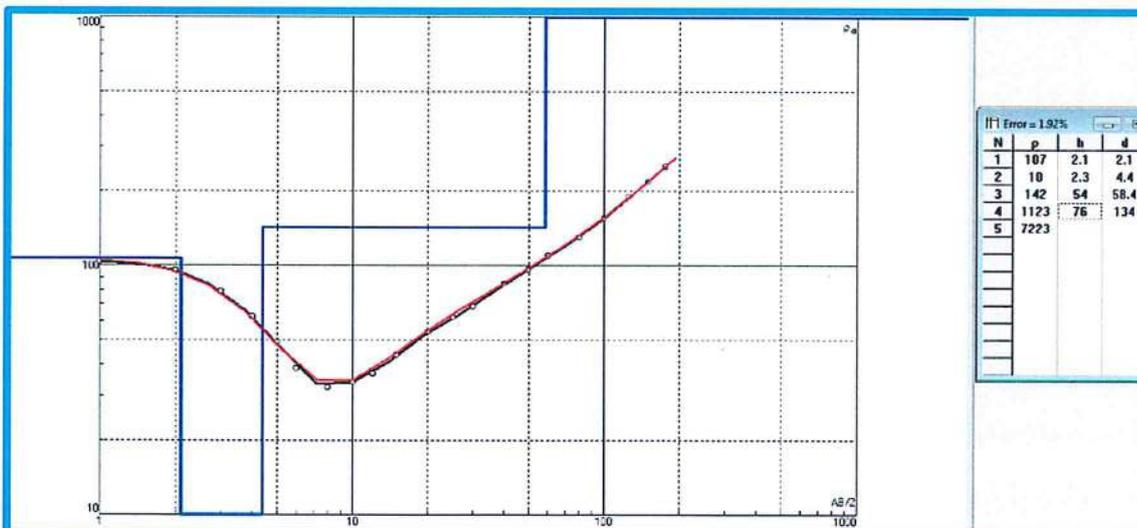
ANEXO III

Curvas de Sondeo Eléctrico Vertical Interpretadas.

SEV-01



SEV-02



ANEXO IV
Mapa de Ubicación de Ensayos SEV y Líneas de Tomografía Eléctrica

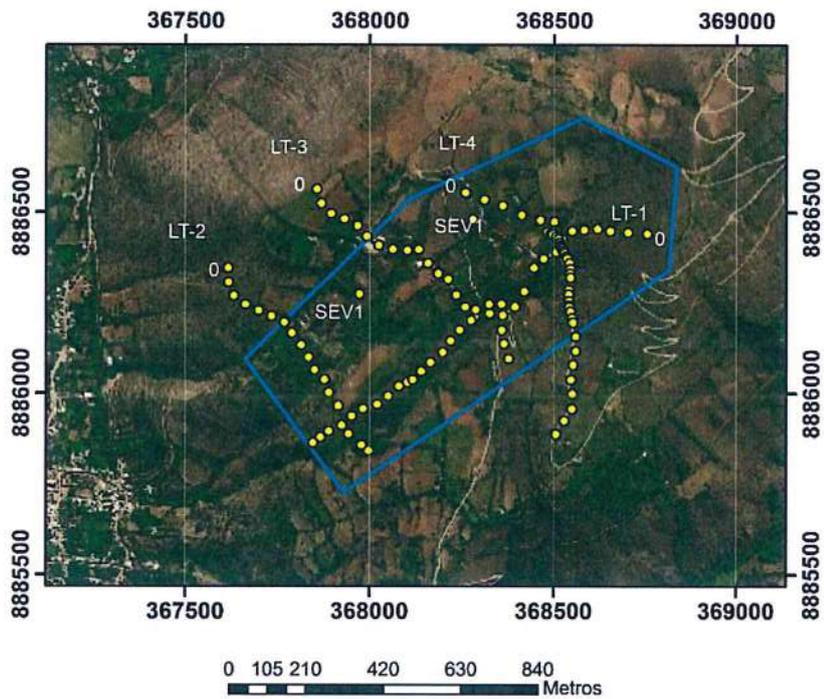


Figura N° 13: Mapa de Ubicación de los ensayos SEV y líneas de Tomografía.

SECCIÓN GEOELÉCTRICA

PERFIL GEOELECTRICO A - A'

Estudio Geofísico de Sondajes Electricos Verticales-SEVs

Distrito de Tomaykichwa, Provincia de Ambo-Departamento de Huanuco

Proyecto: ACT7 - DGAR

Informe Técnico N° A6970

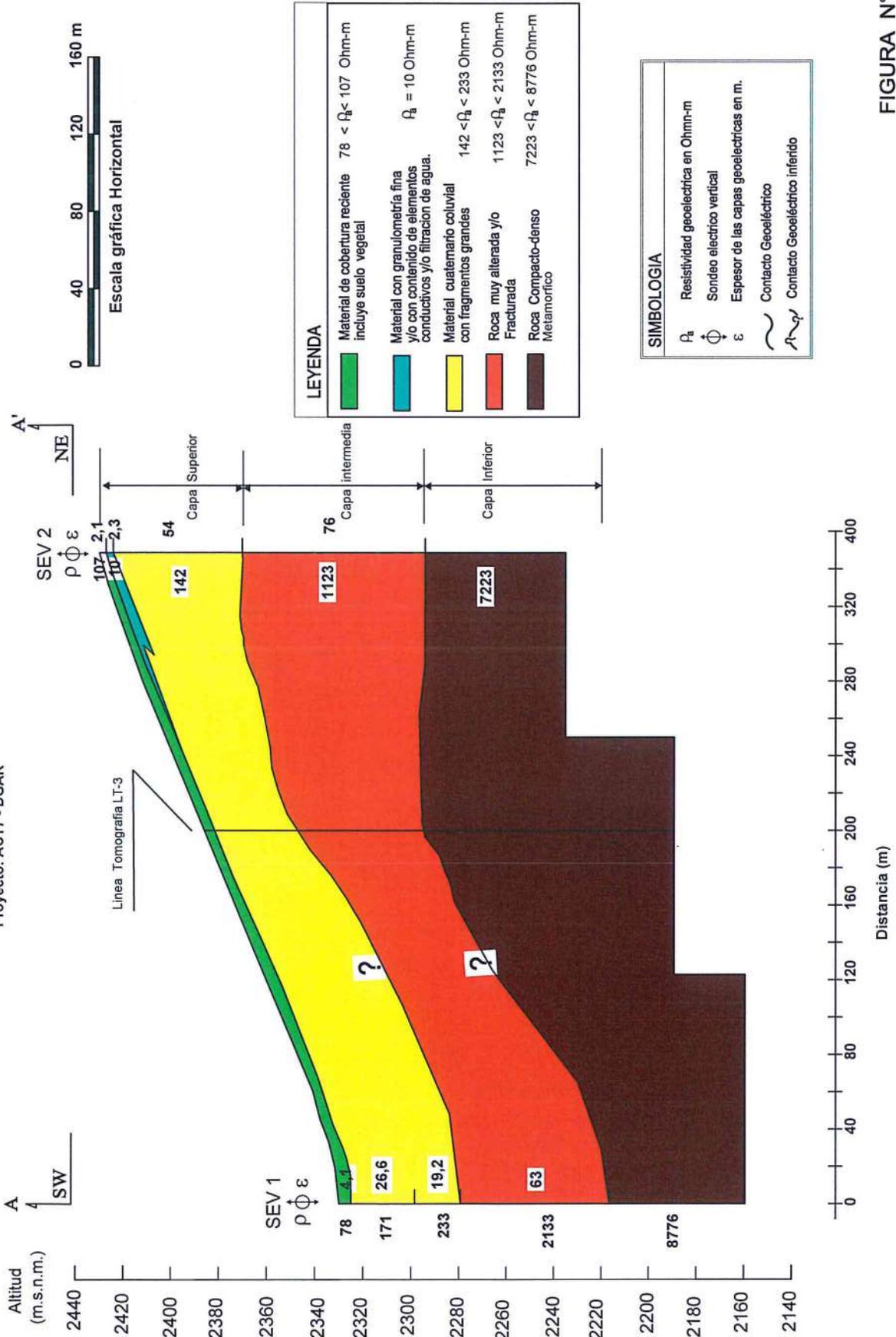


FIGURA N° 14