Oefa Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental	REPORTE DE RESULTADOS

Título del estudio : Reporte de resultados de la prospección geofísica en el área de influencia de la unidad minera Raura

Fecha de ejecución : Del 13 al 20 de septiembre de 2018

CUE : 2018-01-0003 CUC : 001-9-2018-401

Tipo de evaluación : Programada

Fecha : 27 DIC. 2018 Reporte N.° : RL 045 -2018 - STEC

1. DATOS DEL ADMINISTRADO

Razón social del administrado	Compañía Minera Raura S.A.
Área de operación o proyecto	Unidad minera Raura
Distrito	San Miguel de Cauri / Oyón
Provincia	Lauricocha / Oyón
Departamento	Huánuco / Lima

2. DATOS DEL MONITOREO

Tipo de evaluación	Programada
Componentes mineros y ambientales asociados a las líneas tomográficas	Depósito de desmonte Shucshapá y aproximadamente a 50 m aguas abajo del mismo (líneas LTR-1 y LTR-2, y LTR-3 respectivamente)
	Laguna Niño Perdido (línea LTR-4)
	Laguna Niñococha, cerca al tajo Primavera (líneas LTR-5 y LTR-6)
	Laguna Caballococha (líneas LTR-7 y LTR-8)
	Presa de relaves Nieve Ucro II (línea LTR-9)
	Depósito de desmonte Tinquicocha y cerca de la laguna Tinquicocha (líneas LTR-10 y LTR-11 respectivamente)
	Laguna Niñococha (línea LTR-12)

3. OBJETIVO

Realizar un estudio geofísico (tomografía eléctrica) para evaluar la existencia de posibles filtraciones de agua con fuentes de contaminación generados en los componentes mineros asociados (depósito de desmonte Shucshapá, laguna Niño Perdido, laguna Niñococha, laguna Caballococha, presa de relaves Nieve Ucro II y depósito de desmonte Tinquicocha).

4. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio contempló la ejecución de 12 líneas tomográficas que representan en total 3070 metros lineales distribuidas según lo indicado en la Tabla 4-1 y Figura 4-1.

Tabla 4-1. Descripción y longitud de las líneas tomográficas

Línea	Separación de electrodos (m)	Longitud (m)	Descripción
LTR-1	10	160	Ubicada en el depósito de desmonte Shucshapá
LTR-2	15	225	
LTR-3	15	240	Ubicada aproximadamente a 50 m aguas abajo del depósito de desmonte Shucshapá
LTR-4	20	320	Ubicada a 40 metros de la laguna Niño Perdido
LTR-5	15	225	Ubicada aguas abajo de la laguna Niñococha, cerca al tajo Primavera
LTR-6	10	140	
LTR-7	25	375	Ubicada cerca de la laguna Caballococha
LTR-8	20	300	
LTR-9	20	320	Ubicada cerca de la presa de relaves Nieve Ucro II
LTR-10	20	300	Ubicada aguas abajo del depósito de desmonte Tinquicocha
LTR-11	15	240	Ubicada cerca de la laguna Tinquicocha
LTR-12	15	225	Ubicado cerca de la laguna Niñococha

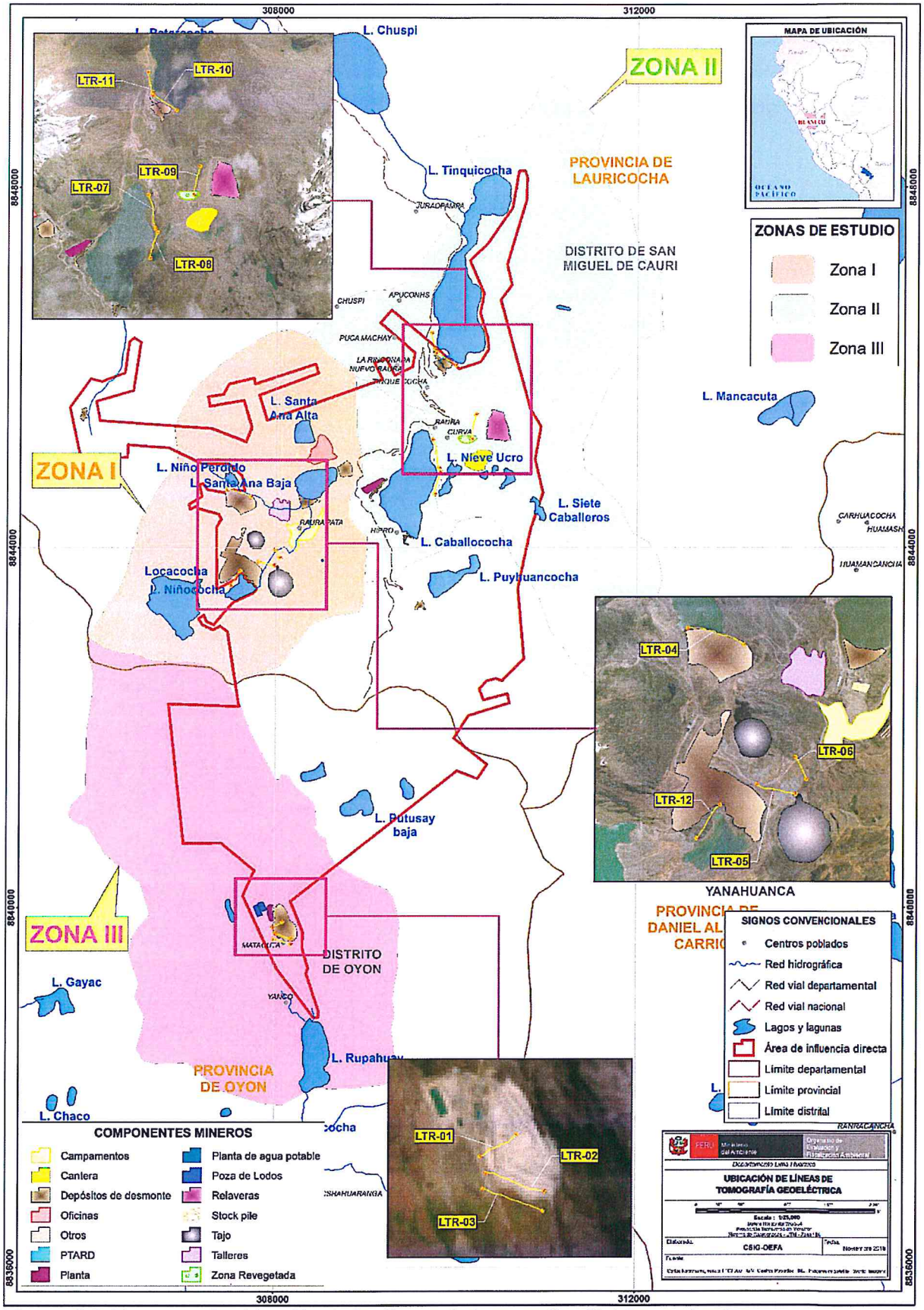


Figura 4-1. Esquema de ubicación de las líneas de tomografía eléctrica evaluadas

5. ANÁLISIS DE DATOS

A continuación, se presenta el análisis de los datos obtenidos durante la realización del levantamiento de tomografía eléctrica.

5.1 Mediciones en las secciones de tomografía eléctrica

Se realizaron las mediciones tomando en cuenta lo siguiente:

Después de realizar un análisis preliminar de la información en las oficinas, se procede al reconocimiento de la zona de estudio, accesibilidad y topografía, luego se realiza la demarcación de las líneas de tomografía eléctrica.

Las líneas de tomografía eléctrica fueron estacadas cada 10, 15, 20 y 25 metros (Tabla 4-1) entre estaciones de lecturas, tomando en cuenta las coordenadas iniciales de cada zona de estudio.

Posteriormente al estacado y marcado de las líneas de tomografía eléctrica (TE), se realizó el levantamiento topográfico con un GPS Garmin.

Una vez marcadas y estacadas las estaciones de lectura se prosiguió al tendido del cable de potencial a lo largo de la línea, se conectó cada estaca de acero (electrodo) del cable de potencial al equipo geofísico ElrecPro de la marca Iris Instruments. Para realizar la prueba de contacto antes de realizar la toma de datos.

Mantener una comunicación constante entre el operador del transmisor, operador de receptor y personal de apoyo mediante el uso de radios móviles.

5.2 Parámetros de adquisición

Los parámetros utilizados en la adquisición de datos se muestran a continuación en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Parámetros de adquisición del estudio de tomografía eléctrica.

Parámetros	Modo de adquisición
Mediciones	Dominio de Tiempo
Configuración de electrodos	Polo – Dipolo
Distancia del dipolo	10, 15, 20 y 25 metros
Profundidad nominal	40, 60, 80 y 100 m
Factor de separación (n)	Lecturas de n1 a n10
Tiempo de sincronización	2 seg
Stack	2 - 4 por punto

A continuación, se describen los procesos realizados para obtener las secciones de resistividad y los resultados de los modelos de inversión de datos.

5.2.1 Base de datos

Primero: Se realiza el levantamiento topográfico con un GPS de la marca Garmin y sus datos son almacenados en su memoria interna, posteriormente son descargados y almacenados en una base de datos.

Segundo: Los datos de resistividad obtenidos en campo fueron almacenados en la memoria interna del receptor, principalmente se considera lo siguiente: nombre y ubicación de cada línea, distancia entre los electrodos de medida, distancia de los electrodos de emisión de corriente, los valores de intensidad de corriente, voltaje primario (Vp), potencial natural (SP), el tiempo de dominio de las lecturas (2000 ms), la desviación estándar de los stack de lectura, la fecha y hora de lectura y los valores de resistividad aparente (Rho).

Tercero: Con esta información se procede a generar los primeros resultados como pseudo-secciones de resistividad aparente, a través del cual se realiza un control de calidad de los datos observando, los errores de la desviación estándar de los datos del potencial primario en cada dipolo, cuyos valores menores al 5 % son aceptados para el procesamiento de estos.

5.2.2 Proceso de inversión

Primero: La base de datos previamente validada y empleada para la generación de las pseudo secciones es exportada a un formato específico de software para el proceso de inversión.

Segundo: Se realiza el control de calidad (QC) de los datos de campo, en el software de procesamiento e inversión, tal como muestra la Figura 5-1.

Tercero: El proceso de inversión tiene por objetivo obtener un modelo 2-D de las resistividades reales a partir de los datos de las resistividades aparentes obtenida en el terreno de estudio. Esta técnica de inversión se basa en realizar todo un proceso iterativo con el que se obtiene un modelo de resistividades reales.

En este caso se aplicó la inversión 2D mediante el software Res2DInv, que realiza de manera simultánea la inversión de los parámetros de resistividad en conjunto con la topografía. Este software emplea elementos finitos, que es método robusto para resaltar los contrastes geológicos y/o anomalías producidas por cambios en la resistividad (resaltar la geometría del cuerpo).

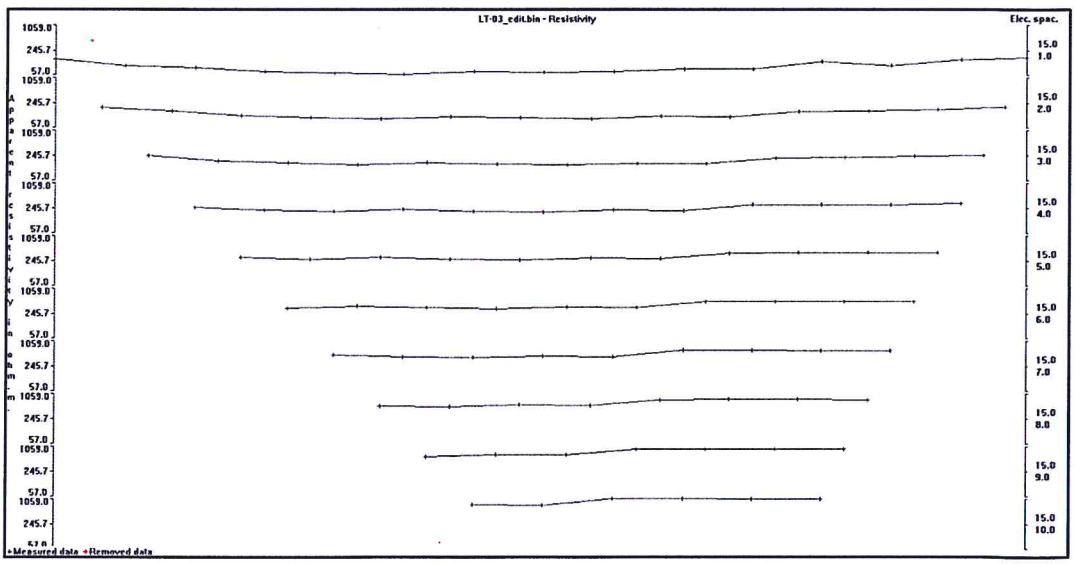


Figura 5-1. Ejemplo control de calidad LTR-3

6. INTERPRETACIÓN DE DATOS

Los perfiles de tomografía muestran la distribución de resistividades en profundidad, la interpretación de estos valores se ha realizado en base al conocimiento de resistividades características de distintos materiales, presentadas en la Tabla 6-1 y Figura 6-2.

Tabla 6-1. Resistividad característica de distintos materiales

Material	Resistividad (ohm.m)
Rocas ígneas y metamórficas	
Granito	5×10^3 - 10^6
Basalto	10^3 - 10^6
Esquistos	6×10^2 - 4×10^7
Mármol	10^2 - $2{,}5\times10^8$
Cuarcita	10^2 - $2{,}5\times10^8$
Rocas sedimentarias	
Arenisca	8 - 4×10^3
Pizarra	20 - 2×10^3
Calizas	50 - 4×10^2
Suelo y agua	
Arcillas	1 - 100
Aluvial	10 - 800
Agua subterránea (dulce)	10 - 100
Agua de mar	0,2
Compuestos químicos	
Hierro	$9{,}074\times10^{-8}$
Cloruro potásico 0,01M	0,708
Cloruro sódico 0,01M	0,843
Ácido acético 0,01 M	6,13
Xyleno	$6{,}998\times10^{16}$

Fuente: Loke, 1999 en Ravelo, 2007

También es importante mencionar que los factores geológicos pueden hacer subir y bajar la resistividad de las rocas o materiales presentes en la zona de estudio (Figura 6-1).

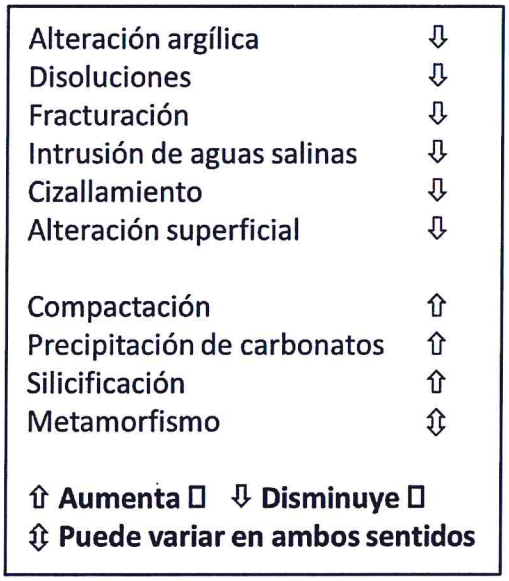


Figura 6-1. Factores geológicos que incrementan o disminuyen la resistividad

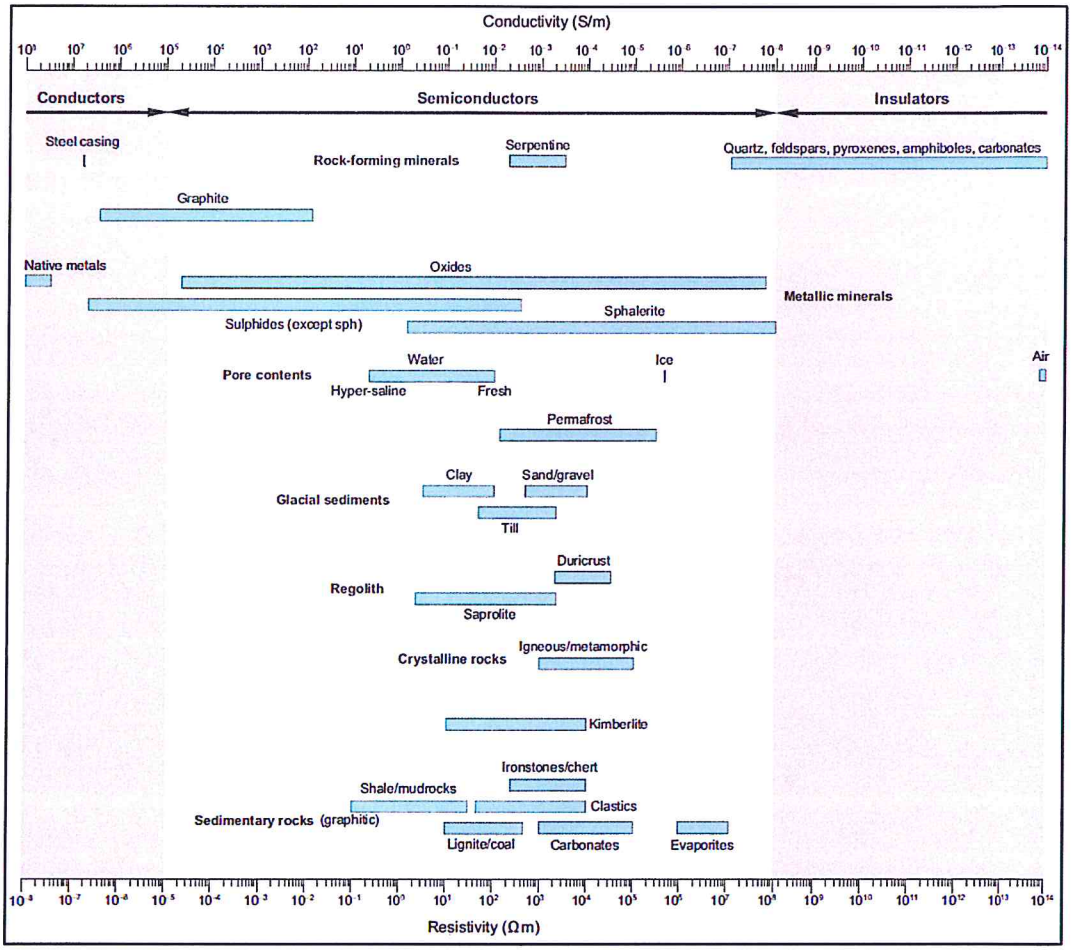


Figura 6-2. Resistividad y conductividad característica de distintos materiales
Fuente: Dentith y Mudge, 2014

A continuación, se describen las interpretaciones obtenidas a partir de las secciones de tomografía eléctrica.

6.1 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-1

Ubicada en el componente minero depósito de desmonte Shucshapá, en dirección NE-SW, con una longitud de 160 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 40 m.

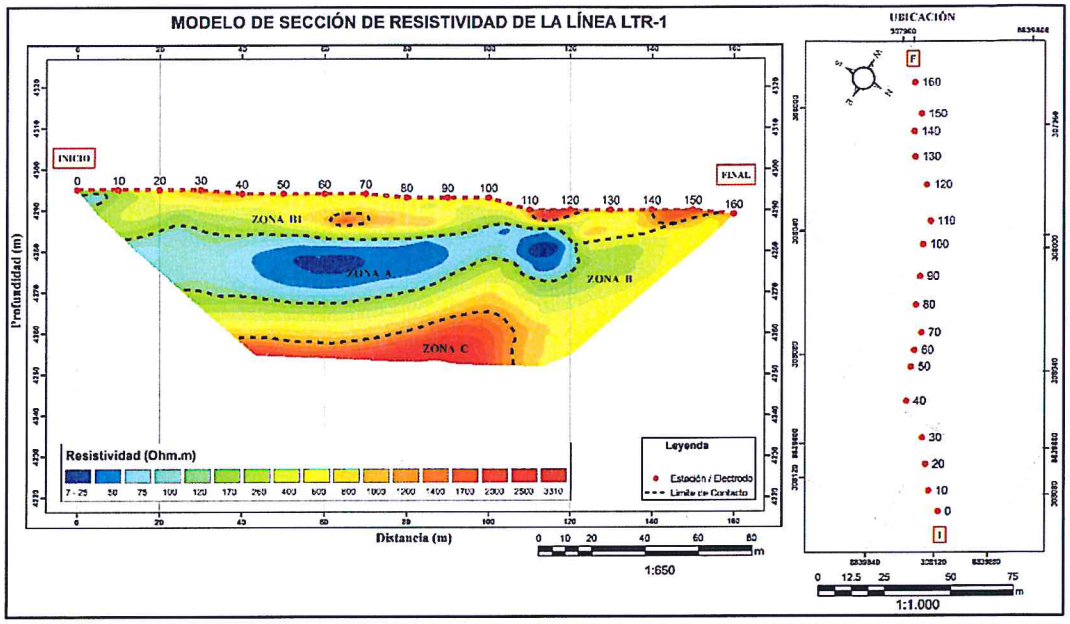
6.1.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-3.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (7 a 120 Ohm.m), con espesores variables aproximadamente entre 7 a 16 m y estas se ubican entre las estaciones 10 a 120 por debajo de la zona B y a una profundidad promedio de 10 m, dichos valores posiblemente estén relacionados a materiales cuaternarios con presencia agua subterránea o humedad; mientras que, los valores inferiores a 25 Ohm.m podrían ser correlacionados con otros parámetros como la geología, muestras de agua y caracterización del componente minero, y con ello definir si dichos valores están relacionados a soluciones ácidas o metales presentes en la zona.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 1000 Ohm.m) y espesores muy variables entre 10 a 30 m aproximadamente y estas se ubican a lo largo de toda la sección de tomografía y recubre la zona A entre las estaciones 10 a 120; cabe resaltar que esta zona se ha dividió en dos partes: *zona B1*, que corresponde a valores que están cercanos a la superficie (espesor promedio de 10 a 12 m), que posiblemente está relacionado al material antrópico del componente minero (desmonte de mina); mientras los valores de la *zona B*, que se encuentra por debajo de la zona A, posiblemente están relacionados a materiales más compactos con menor grado de humedad o rocas que han sido afectados por factores geológicos y una zona de transición a la zona C.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (1001 a 3310 Ohm.m), dichos valores se encuentran en algunas zonas próximos a la superficie (estaciones 60 a 70 y 100 a 120) y en profundidad por debajo de la zona B entre las estaciones 40 a 110 de la sección de tomografía eléctrica, sus espesores son variables aproximadamente de 3 a 12 m, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos o roca.



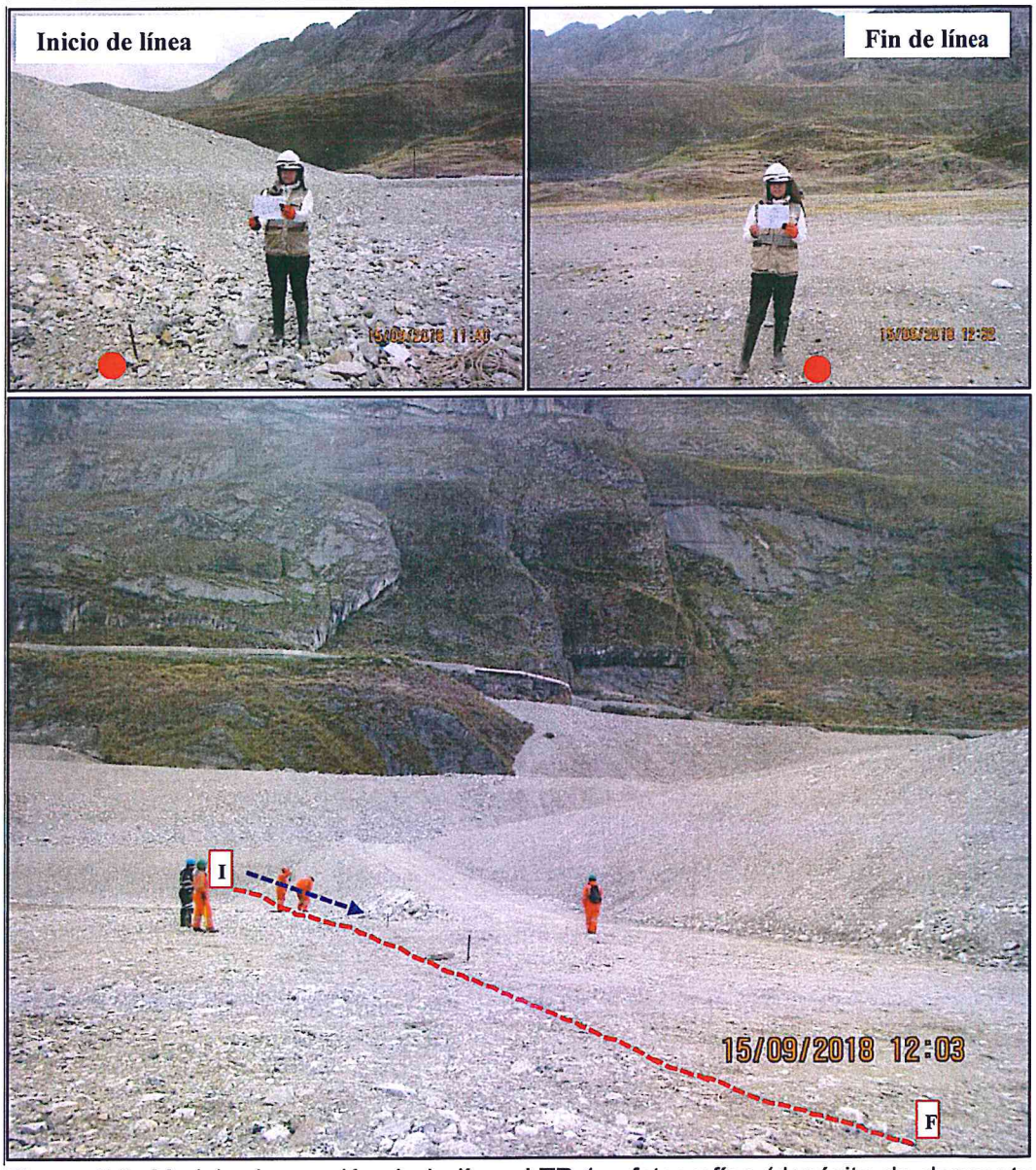


Figura 6-3. Modelo de sección de la línea LTR-1 y fotografías (depósito de desmonte Shucshapá)

6.2 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-2

Ubicada en el componente minero depósito de desmonte Shucshapá, en dirección NW-SE, con una longitud de 225 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 60 m.

6.2.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-4.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (51 a 120 Ohm.m), con espesores variables aproximadamente entre 5 a 28 m y estas se ubican entre las estaciones 75 a 180 por debajo de la zona B y a una profundidad variable de 15 a 30 m, dichos valores posiblemente estén relacionados a materiales cuaternarios con presencia agua subterránea o humedad; en esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales, sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica y muestras de agua.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 1000 Ohm.m) y espesores variables entre 10 m a 45 m aproximadamente y estas se ubican a lo largo de toda la sección de tomografía y recubre la zona A entre las estaciones 75 a 180; cabe resaltar que, esta zona se ha dividió en dos partes: *zona B1*, que corresponde a valores que están cercanos a la superficie (espesor promedio de 10 a 22 m), que posiblemente está relacionado al material antrópico del componente minero (desmonte de mina), mientras los valores de la *zona B*, que se encuentra por debajo de la zona A (espesores de 5 a 25 m), posiblemente están relacionados a materiales más compactos con menor grado de humedad o rocas que han sido afectados por factores geológicos y una zona de transición a la zona C.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (1001 a 4740 Ohm.m), dichos valores se encuentran en algunas zonas próximos a la superficie (estaciones 0 a 15 y 195 a 225) están relacionados a materiales compactados y en profundidad por debajo de la zona B entre las estaciones 45 a 180 de la sección de tomografía eléctrica, sus espesores son variables aproximadamente entre 2 a 14 m, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos o roca intacta (calizas).

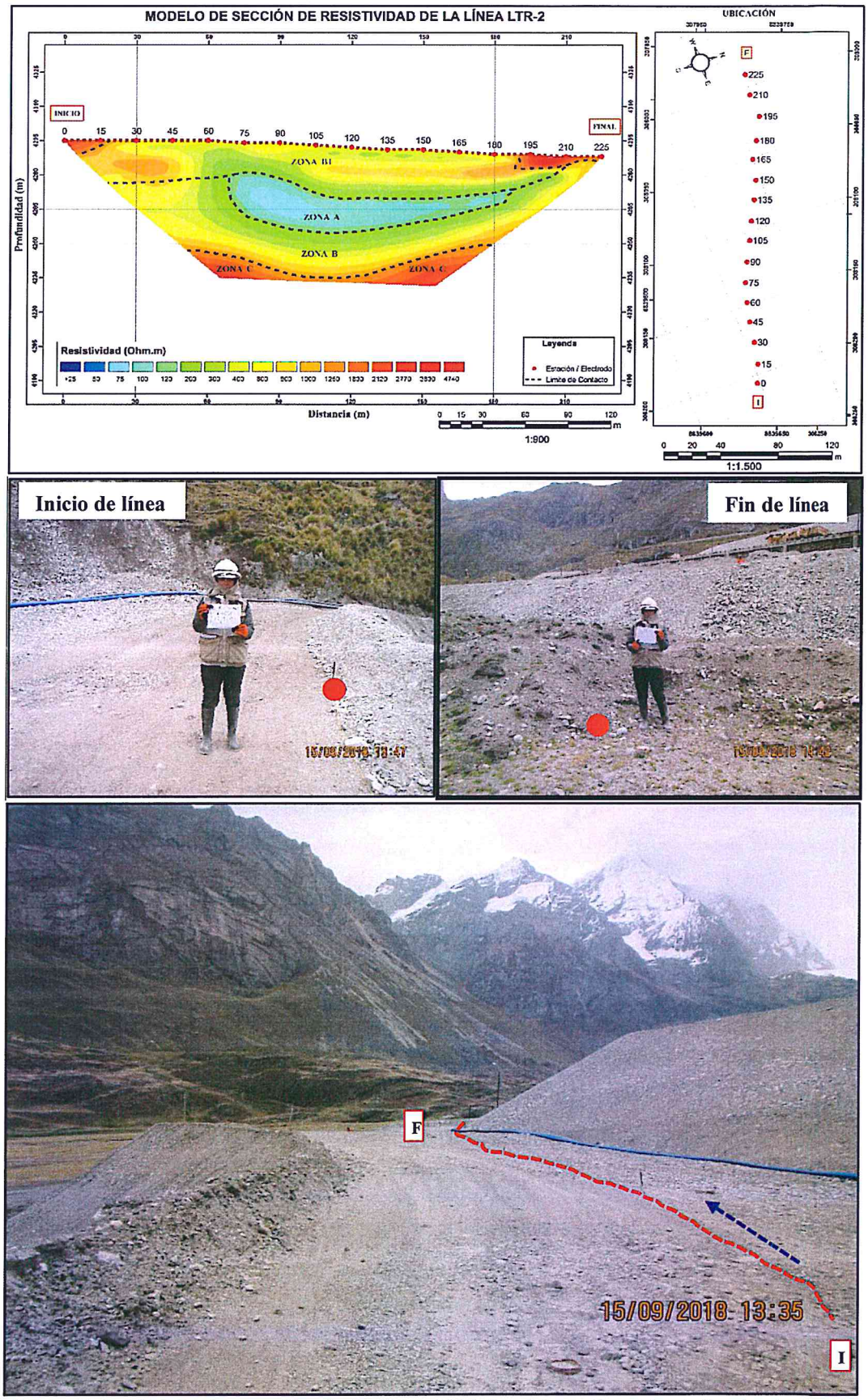


Figura 6-4. Modelo de sección de la línea LTR-2 y fotografías (depósito de desmonte Shucshapá)

6.3 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-3

Ubicada a 50 m aproximadamente aguas abajo del componente minero depósito de desmonte Shucshapá, en dirección NW-SE, con una longitud de 240 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 60 m.

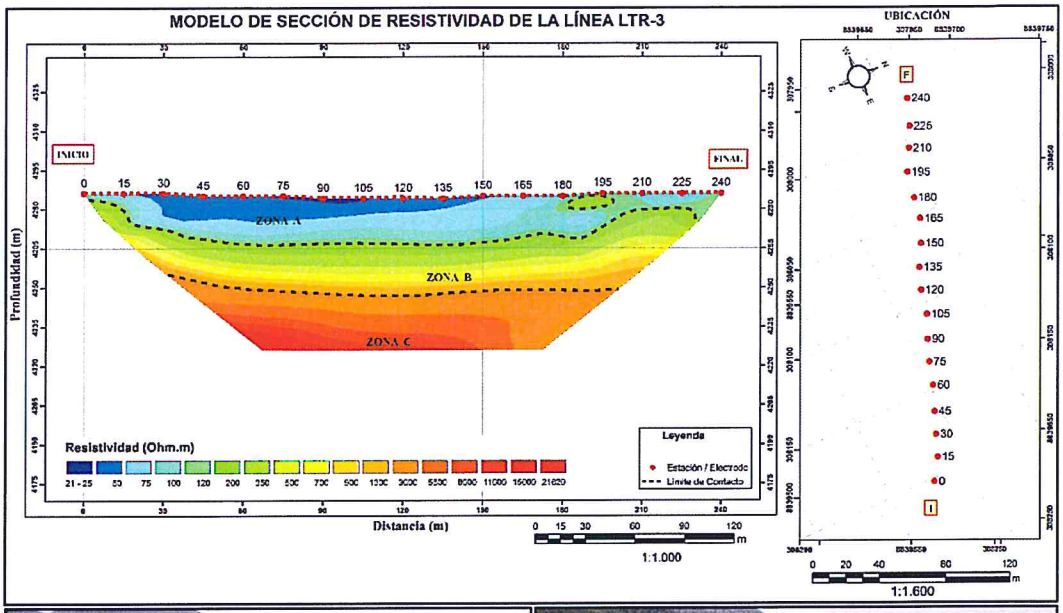
6.3.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-5.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (21 a 120 Ohm.m), con espesores variables aproximadamente entre 6 a 20 m y estas se ubican entre las estaciones 0 a 240 por encima de la zona B y a lo largo de toda la sección aflora en la superficie, dichos valores posiblemente estén relacionados a materiales cuaternarios con presencia agua subterránea o humedad; cabe mencionar que esta línea esta sobre el bofedal (Figura 6-3) y gran parte de la sección se encuentra saturado de agua; mientras que los valores inferiores a 25 Ohm.m podrían ser correlacionados con otros parámetros como la geología, muestras de agua, muestras de suelo y con ello definir si dichos valores están relacionados a soluciones ácidas o metales presentes en la zona.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 1300 Ohm.m) y espesores variables entre 10 m a 27 m aproximadamente y estas se ubican a lo largo de toda la sección de tomografía, dichos valores que se encuentran por debajo de la zona A, posiblemente están relacionados a materiales más compactos con menor grado de humedad o rocas que han sido afectados por factores geológicos y una zona de transición a la zona C.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (1301 a 21620 Ohm.m), dichos valores se encuentran en profundidad por debajo de la zona B entre las estaciones 30 a 210 de la sección de tomografía eléctrica, sus espesores son variables 10 a 23 m aproximadamente, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos o roca intacta (calizas).







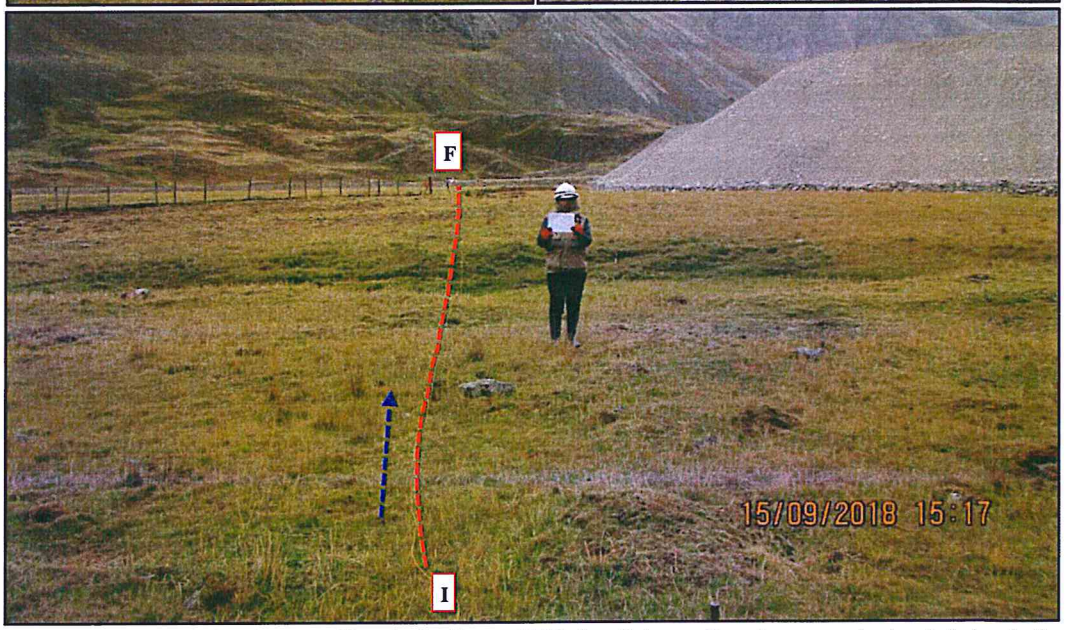


Figura 6-5. Modelo de sección de la línea LTR-3 y fotografías (aguas abajo del depósito de desmonte Shucshapá)

6.4 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-4

Ubicada a 40 m del componente ambiental laguna Niño Perdido, en dirección NW-SE, con una longitud de 340 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 80 m.

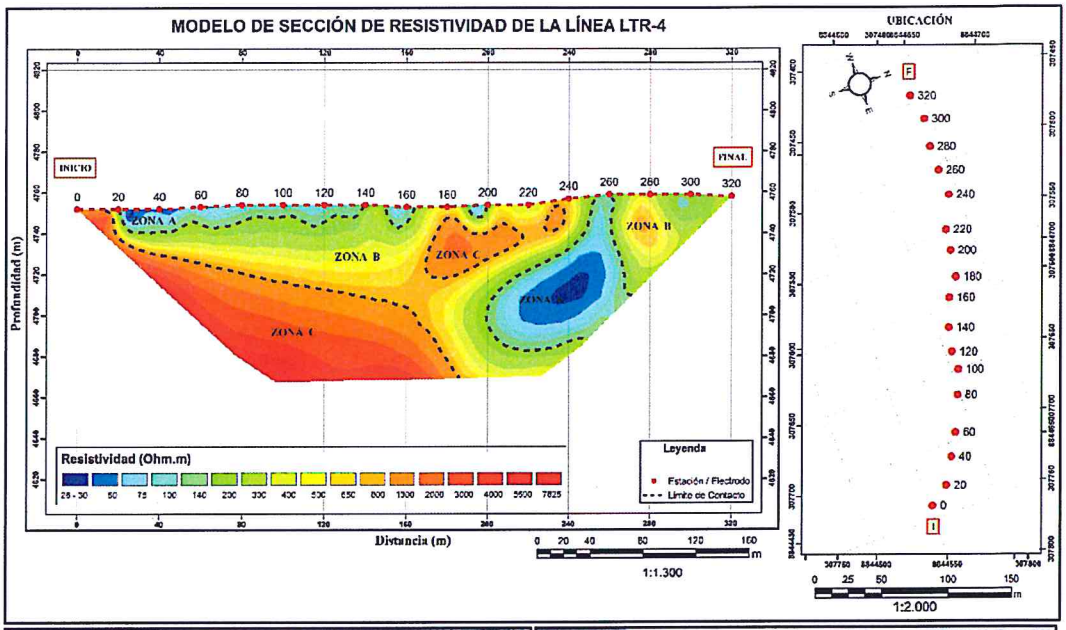
6.4.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m) el cual se ha dividido en 3 zonas tal como muestra la Figura 6-6.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (26 a 140 Ohm.m), con espesores variables aproximadamente entre 4 a 12 m y estas se ubican entre las estaciones 20 a 140 por encima de la zona B, dichos valores posiblemente estén relacionados a material de relleno de origen lacustres con filtraciones de agua por lluvia y humedad en la zona, además se tiene estos valores entre las estaciones 200 a 270 (espesores 20 a 60 m) llegan alcanzar mayor profundidad, posiblemente relacionada a fallas o fracturas con presencia de humedad; finalmente esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales; sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, muestras de agua y suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (141 a 800 Ohm.m) y con espesores variables entre 5 a 45 m aproximadamente y estas se ubican a entre las estaciones 20 a 240, y por debajo de la zona A, también estos valores se encuentran al final de la sección estaciones 260 a 300, el mayor espesor de estos valores se encuentra entre las estaciones 135 a 180, estos valores podrían estar relacionados a materiales cuaternarios compactos, posiblemente morrenas antiguas o rocas que han sido afectado por factores geológicos y se comporta como una zona de transición a la zona C.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (801 a 7825 Ohm.m), estas se encuentran en la parte inferior izquierda de la sección de tomografía eléctrica (estaciones 0 a 180) y con espesores variables entre 5 a 50 m, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales impermeables correspondiente a las rocas intrusivas (granodioritas).







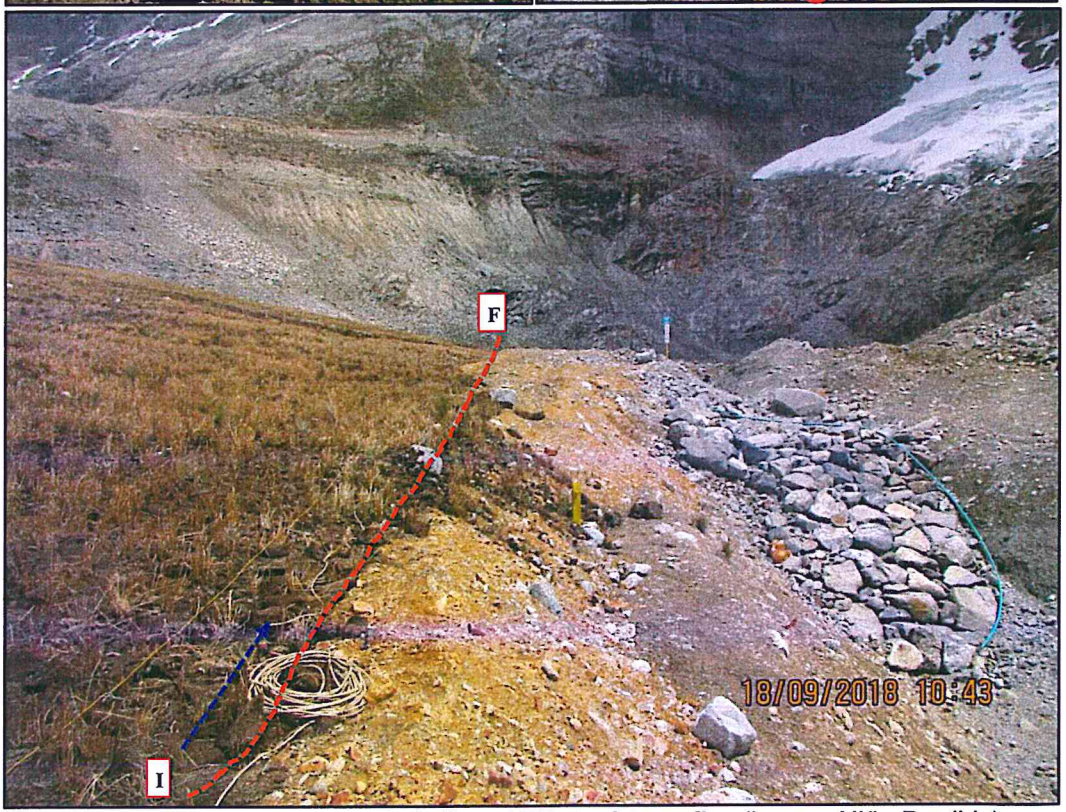


Figura 6-6. Modelo de sección de la línea LTR-4 y fotografías (laguna Niño Perdido)

6.5 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-5

Ubicada aguas abajo de la laguna Niñococha cerca al componente minero tajo Primavera, en dirección NW-SE, con una longitud de 225 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 60 m.

6.5.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-7.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (32 a 120 Ohm.m), con espesores variables aproximadamente entre 3 a 18 m y estas se ubican de inicio entre las estaciones 0 a 20 y estaciones 45 a 165 próximos a la superficie, además entre las estaciones 45 a 225 alcanza la mayor profundidad, dichos valores posiblemente estén relacionados a material de relleno de origen antrópico del componente minero (desmontera) y filtraciones de agua por lluvia y humedad; esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones acidas o metales sin embargo; se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, caracterización del componente, muestras de agua y suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 1000 Ohm.m), sus espesores son variables de 5 a 30 m aproximadamente y se ubican entre las estaciones 0 a 225 por debajo de la zona A entre las estaciones 45 a 165, además se tiene estos valores entre las estaciones 45 a 200 con espesores de 10 a 15 m se ubican a mayor profundidad, estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos de origen cuaternario (depósitos de morrenas), o una zona de transición con presencia de humedad o la roca que podría estar afectado por factores geológicos (fracturamiento).

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (1001 a 19600 Ohm.m), los espesores varían de 8 a 17 m aproximadamente, entre las estaciones 45 a 210 y se ubica en la parte inferior de la sección, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales muy compactos que corresponderían al basamento rocoso (calizas).

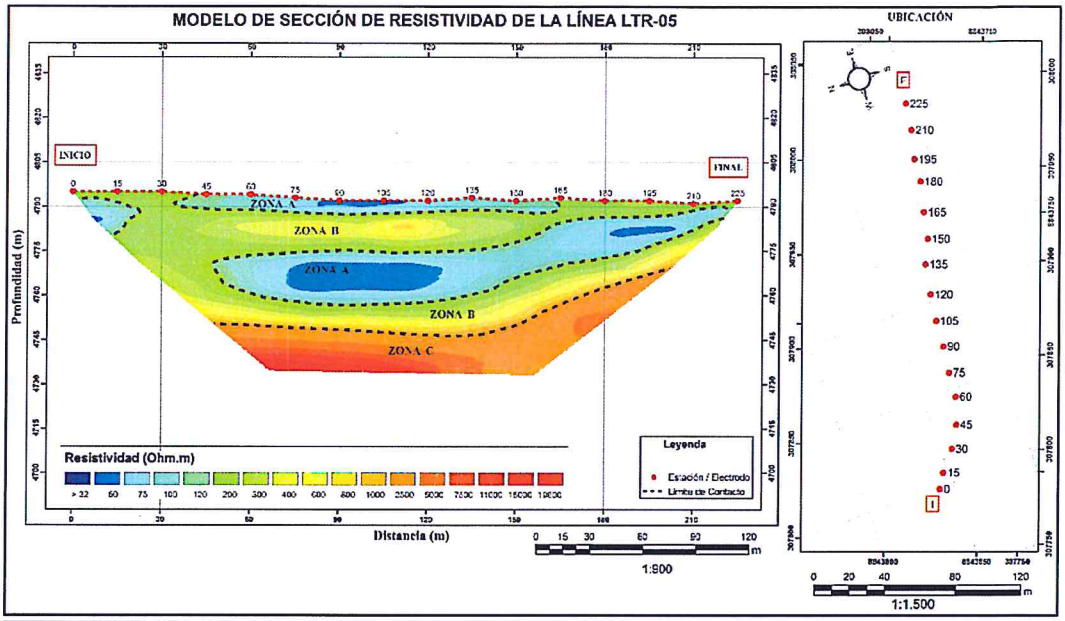






Figura 6-7. Modelo de sección de la línea LTR-5 y fotografías (aguas abajo de la laguna Niñococha cerca al tajo Primavera)

6.6 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-6

Ubicada aguas abajo de la laguna Niñococha, cerca al componente minero tajo Primavera, en dirección NNW-SSE, con una longitud de 140 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 40 m.

6.6.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-8.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (8 a 120 Ohm.m), con espesores variables aproximadamente entre 10 a 25 m y estas se ubican de inicio entre las estaciones 10 a 20 y estaciones 30 a 140 próximos a la superficie, además entre las estaciones 60 a 110 alcanza la mayor profundidad, dichos valores posiblemente estén relacionados a material de relleno de origen antrópico del componente minero (desmontera) y filtraciones de agua por lluvia y humedad; mientras que, los valores inferiores a 25 Ohm.m podrían ser correlacionados con otros parámetros como la geología, muestras de agua, muestras de suelo, y con ello definir si dichos valores están relacionados a soluciones ácidas o metales presentes en la zona.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 1000 Ohm.m), sus espesores son variables de 4 m a 12 m aproximadamente y se ubican entre las estaciones 0 a 105 por debajo de la zona A, además se tiene estos valores entre las estaciones 110 a 130 con espesores de 5 a 8 m próximos a la superficie, estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos de origen cuaternario (depósitos de morrenas), o una zona de transición con presencia de humedad o la roca podría estar afectado por factores geológicos (fracturamiento).

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (1001 a 17200 Ohm.m), los espesores varían de 4 a 15 m aproximadamente, entre las estaciones 10 a 100 y se ubica en la parte inferior izquierda de la sección, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales muy compactos que correspondería al basamento (calizas).

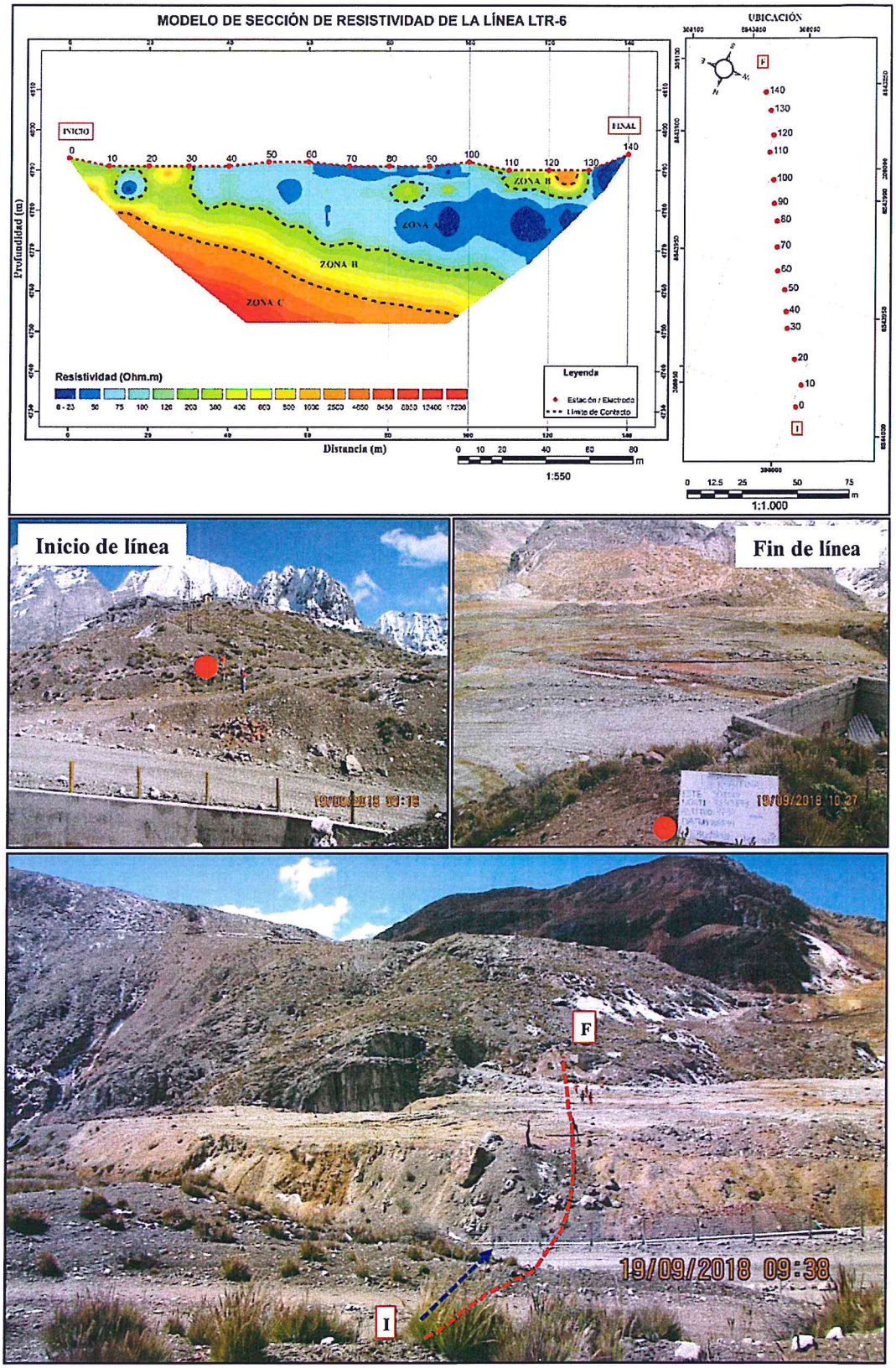


Figura 6-8. Modelo de sección de la línea LTR-6 y fotografías (aguas abajo de la laguna Niñococha cerca al tajo)

6.7 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-7

Ubicada cerca del componente ambiental laguna Caballococha, en dirección aproximadamente N-S, con una longitud de 375 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 100 m.

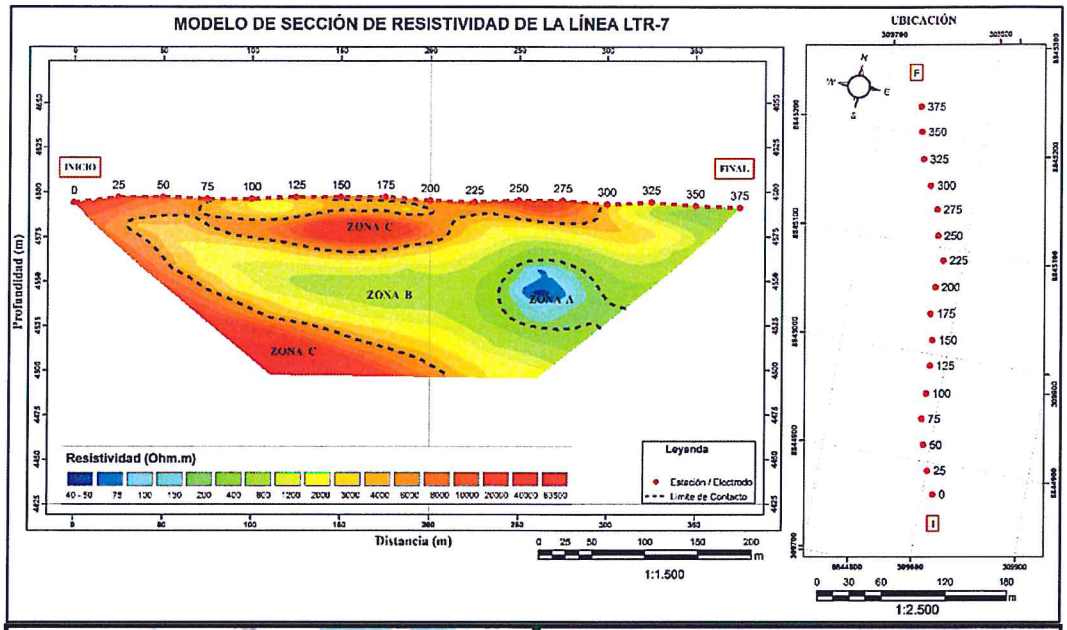
6.7.1 Zonas determinadas en la sección

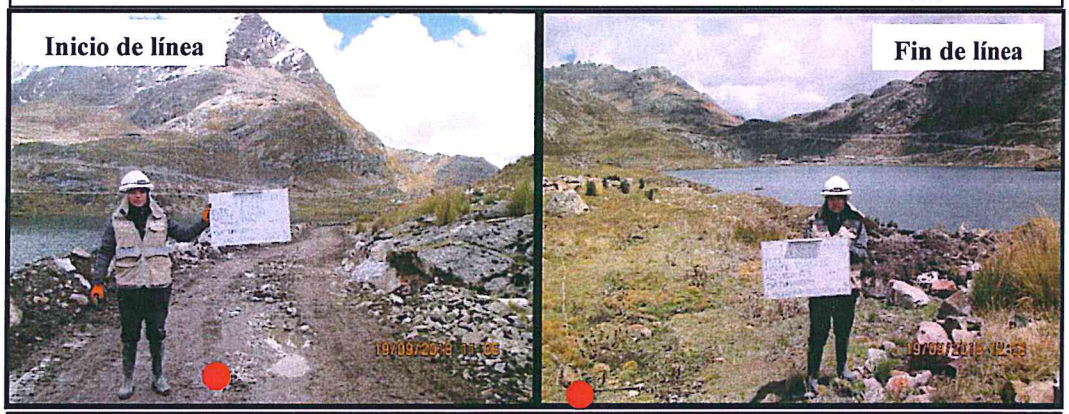
La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-9.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (40 a 130 Ohm.m), con espesores variables aproximadamente entre 10 a 35 m y estas se ubica en una zona puntual entre las estaciones 250 a 300, dichos valores posiblemente estén relacionados a zonas de debilidad producto de factores geológicos y saturadas con agua;en esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones acidas o metales sin embargo; se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, muestras de agua y suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (131 a 4000 Ohm.m) y con espesores variables aproximadamente entre 15 a 90 m y estas se ubican a entre las estaciones 50 a 275, además se tiene estos valores entre las estaciones 75 a 200 con espesores aproximadamente de 2 a 8 m y se ubican próximos a la superficie, dichos valores podrían estar relacionados a materiales más compactos con presencia de humedad o a la roca sedimentaria (caliza) afectado por factores geológicos (fracturamiento).

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (4001 a 63500 Ohm.m), estas se encuentran entre las estaciones 0 a 300 cercanos a la superficie y entre 50 a 200 alcanza mayor profundidad, estos valores posiblemente esté relacionado a la roca sedimentaria (Caliza) impermeable que aflora en la superficie.





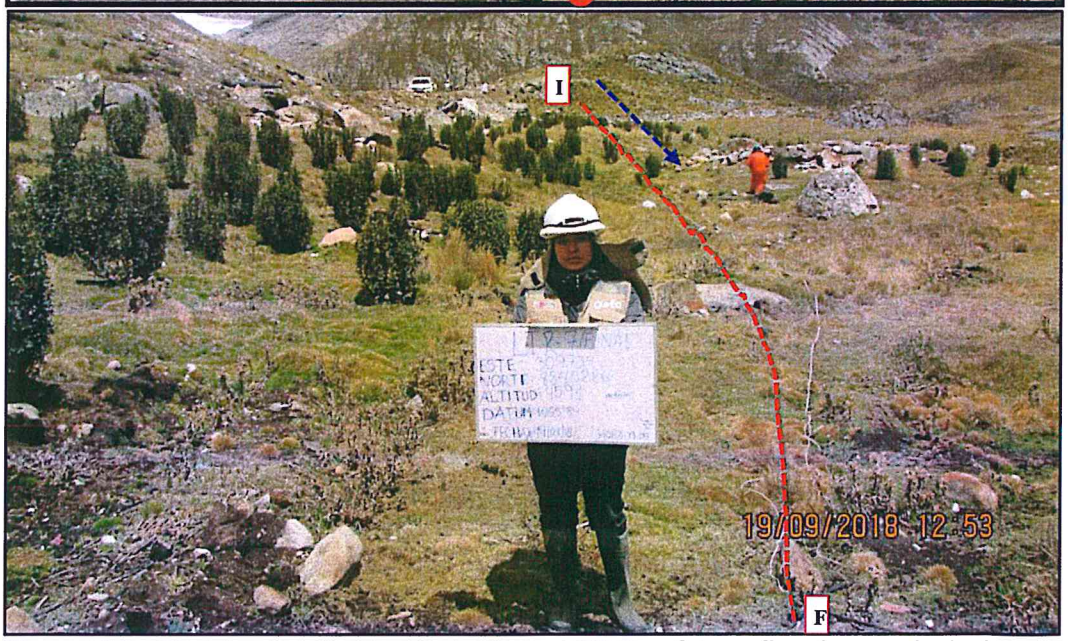


Figura 6-9. Modelo de sección de la línea LTR-7 y fotografías (cerca de la laguna Caballococha)

6.8 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-8

Ubicada cerca del componente ambiental laguna Caballococha, en referencia se tiene el dique de contención de la zona de rebose de la laguna Caballococha y en dirección NE-SW, con una longitud de 300 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 80 m.

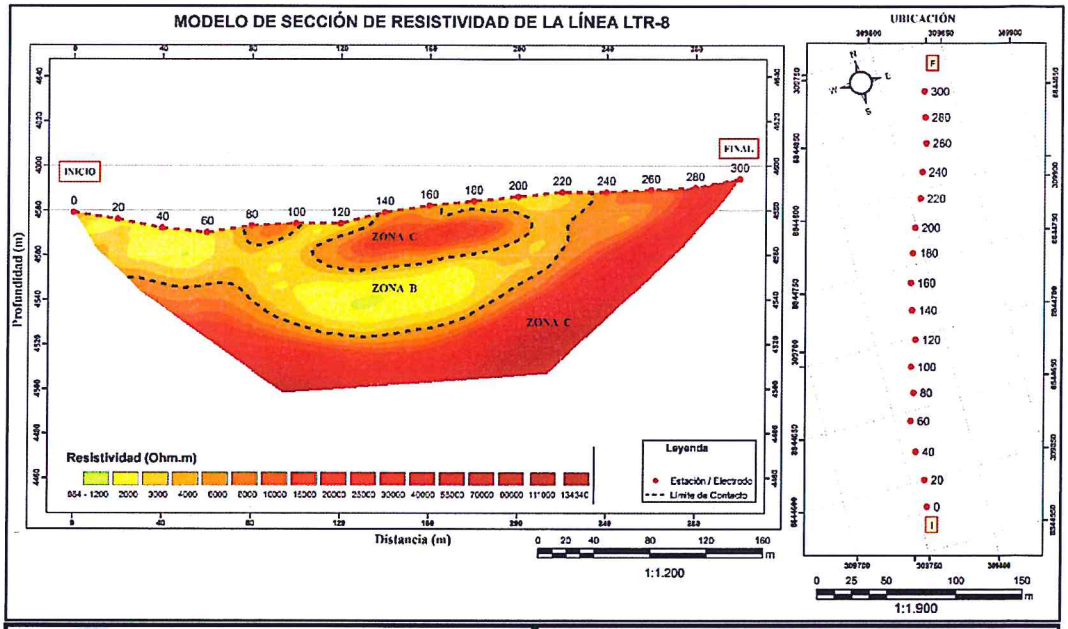
6.8.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-10.

Zona A: En esta sección no se observa valores bajos de resistividad.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (984 a 4000 Ohm.m) y con espesores variables aproximadamente entre 10 a 30 m y estas se ubican a entre las estaciones 0 a 240, dichos valores podrían estar relacionados a materiales más compactos con presencia de humedad o a la roca sedimentaria (caliza) afectado por factores geológicos (fracturamiento).

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (4001 a 134340 Ohm.m), estas se encuentran entre las estaciones 80 a 100 y 120 a 200 cercanos a la superficie y entre 20 a 300 alcanza mayor profundidad, estos valores posiblemente esté relacionado a la roca sedimentaria (caliza) impermeable que aflora en la superficie.





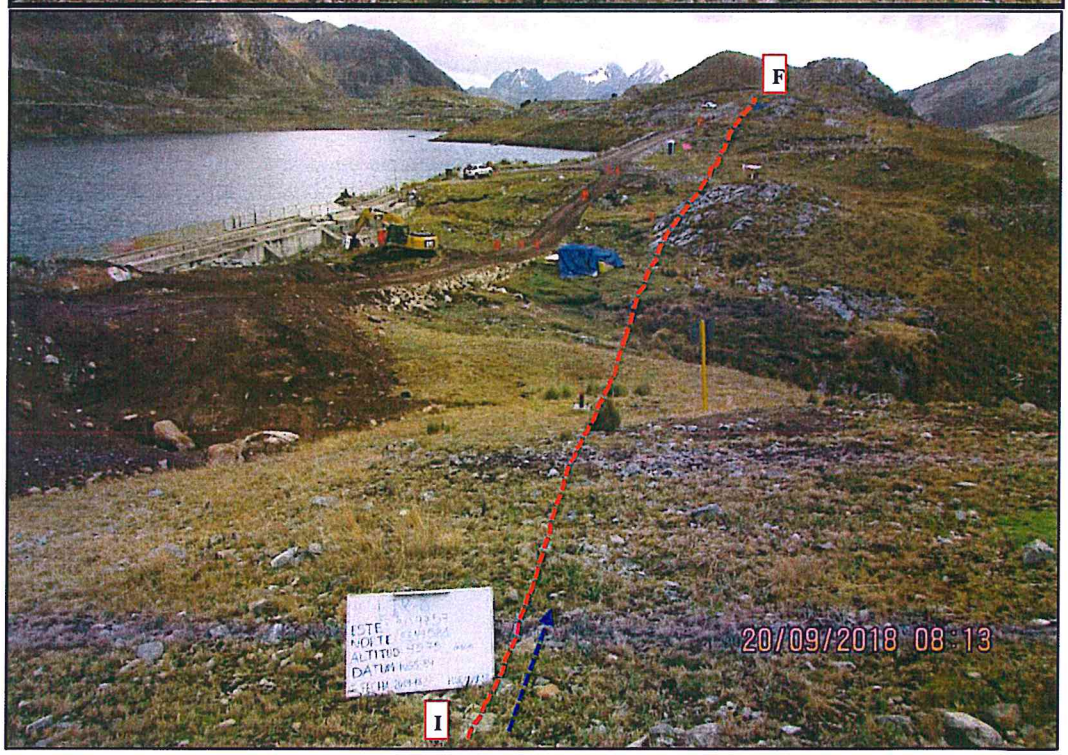


Figura 6-10. Modelo de sección de la línea LTR-8 y fotografías (cerca de la laguna Caballococha)

6.9 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-9

Ubicada cerca del componente minero presa de relaves Nieve Ucro II, en dirección NNE-SSW, con una longitud de 320 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 80 m.

6.9.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-11.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (66 a 500 Ohm.m), espesores variables aproximadamente entre 10 a 40 m y estas se ubican entre las estaciones 140 en profundidad y 260 a 320 se muestras próximos a la superficie, dichos valores posiblemente estén relacionados a infiltraciones de agua o humedad en la zona revegetada y posible material cuaternario saturado; en esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales; sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, muestras de agua de los piezómetros y suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (501 a 2500 Ohm.m), sus espesores son variables de 5 a 50 m aproximadamente en las estaciones 0 a 260, además se tiene estos valores entre las estaciones 60 a 200 con espesores de 25 a 30 m en profundidad, estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos o la roca sedimentaria (caliza) que posiblemente este afectado por factores geológicos (fracturamiento) con presencia de humedad.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (2501 a 12790 Ohm.m), los espesores varían de 10 a 20 m entre las estaciones 60 a 20, además se tiene dichos valores entre las estaciones 180 a 260 con espesores de 10 a 50 m, estos últimos llegando a la base de la sección, estos valores posiblemente estén relacionados a la roca sedimentaria (caliza) impermeable.

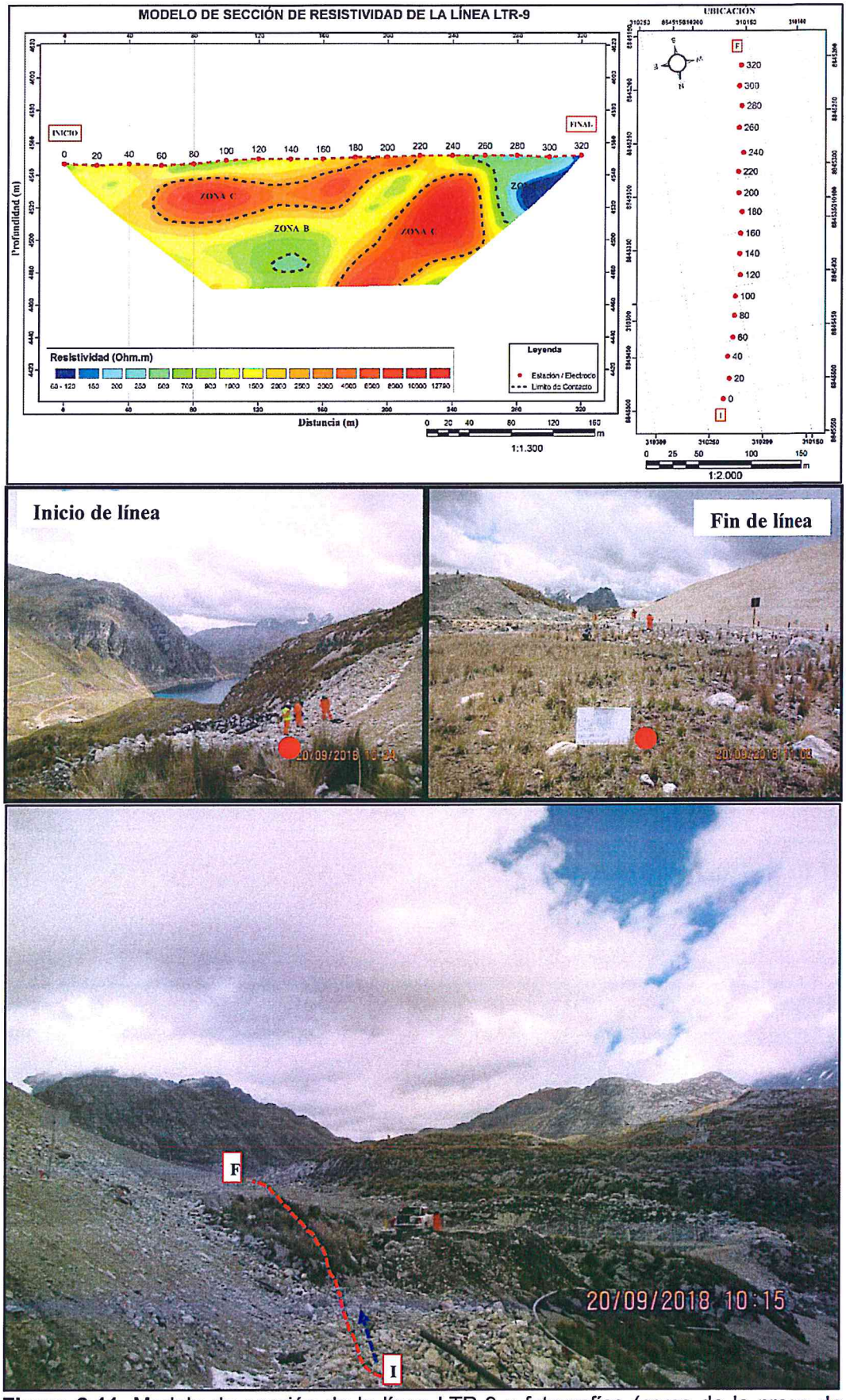


Figura 6-11. Modelo de sección de la línea LTR-9 y fotografías (cerca de la presa de relaves Nieve Ucro II)

6.10 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-10

Ubicada aguas abajo del componente minero depósito de desmonte Tinquicocha, en dirección NW-SE, con una longitud de 300 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 80 m.

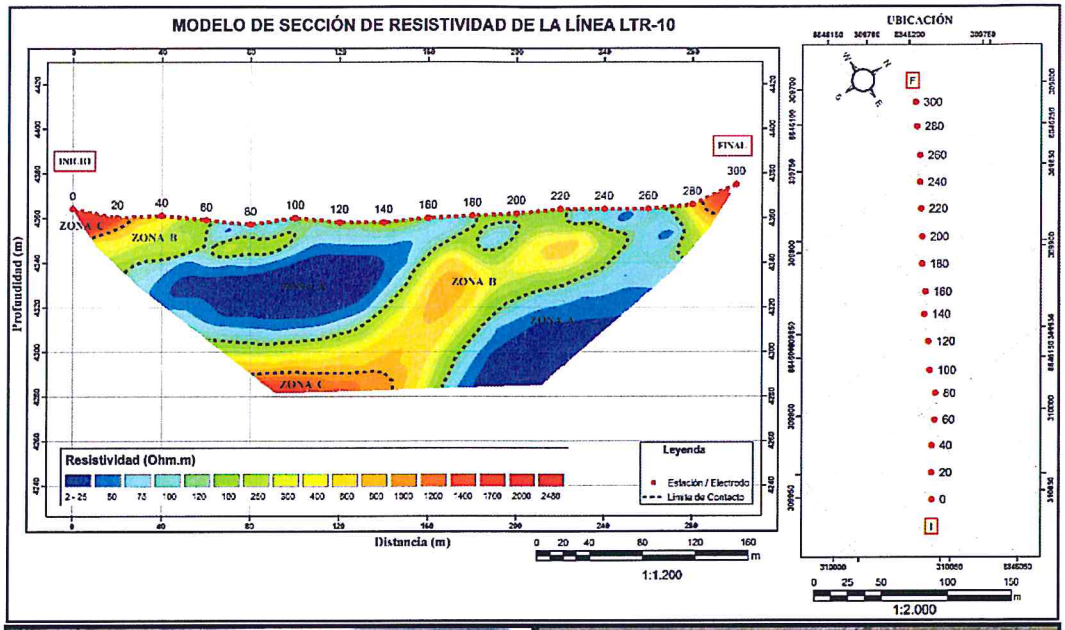
6.10.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-12.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (2 a 120 Ohm.m), espesores variables aproximadamente entre 6 m a 55 m, ubicados entre las estaciones 20 a 180, además dichos valores también se ubicación entre las estaciones 180 a 280, en esta última lleva a la base de la sección, dichos valores posiblemente estén relacionados a material cuaternario (bofedal) saturado de agua, además se observa valores inferiores a 50 Ohm.m en profundidad que podrían estar relacionados a zonas de debilidad (alto grado de fracturamiento de la roca) con presencia de agua; mientras que, los valores inferiores a 25 Ohm.m podrían ser correlacionados con otros parámetros como la caracterización geológica, muestras de agua y muestras de suelo, con ello definir si dichos valores están relacionados a soluciones ácidas o metales presentes en la zona.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 800 Ohm.m), sus espesores son variables de 5 a 20 m aproximadamente y se ubican entre las estaciones 0 a 100 cercanos a la superficie, además se tiene estos valores entre las estaciones 60 a 240 con espesores de 15 a 60 m y llega a la base de la sección entre las estaciones 80 a 180, por último, se tiene dichos valores entre las estaciones 270 a 300; estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos o la roca sedimentaria (caliza), que posiblemente este afectado por factores geológicos (menor grado de fracturamiento) con presencia de humedad.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (801 a 2480 Ohm.m), los espesores varían de 2 a 6 m, entre las estaciones 0 a 20 y 280 a 300 en forma más puntual y entre las estaciones 80 a 150, dichos valores están en la base de la sección, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos principalmente los que están cercanos a la superficie y roca sedimentaria (caliza) impermeable en profundidad.





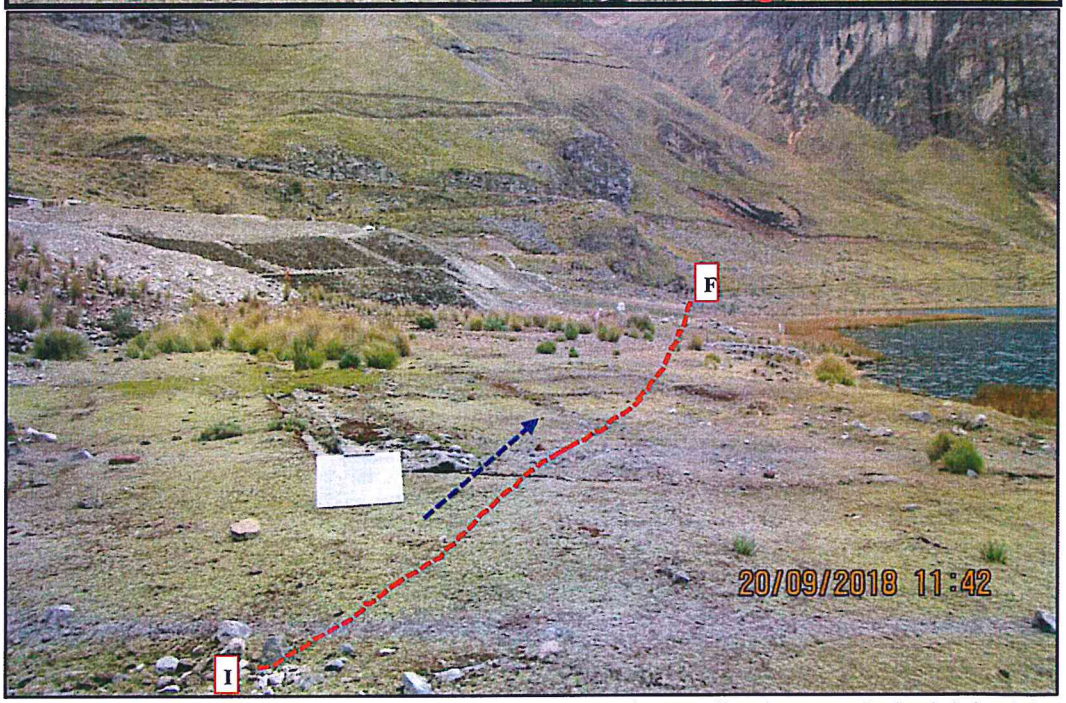


Figura 6-12. Modelo de sección de la línea LTR-10 y fotografías (aguas abajo del depósito de desmonte Tinquicocha)

6.11 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-11

Ubicada cerca del componente ambiental laguna Tinquicocha, en dirección NNE-SSW, con una longitud de 240 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 60 m.

6.11.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-13.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (30 a 120 Ohm.m), espesores variables entre 5 a 35 m aproximadamente, ubicados entre las estaciones 15 a 135, dichos valores posiblemente estén relacionados a material cuaternario (bofedal) saturado de agua, además se observa valores inferiores a 50 Ohm.m en profundidad que podrían estar relacionados a zonas de debilidad (alto grado de fracturamiento de la roca) con presencia de agua; esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales; sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, muestras de agua y muestras de suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 800 Ohm.m), sus espesores son variables de 6 a 10 m aproximadamente, ubicados entre las estaciones 0 a 60 cercanos a la superficie, además se tiene estos valores entre las estaciones 45 a 240 con espesores de 10 a 45 m por encima de la zona C; estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos o la roca sedimentaria (caliza), que posiblemente este afectado por factores geológicos (menor grado de fracturamiento) con presencia de humedad.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (801 a 2320 Ohm.m), los espesores varían de 5 a 15 m, entre las estaciones 60 a 210, dichos valores están en la base de la sección, estos valores posiblemente estén relacionados a la roca sedimentaria (caliza) impermeable en profundidad.

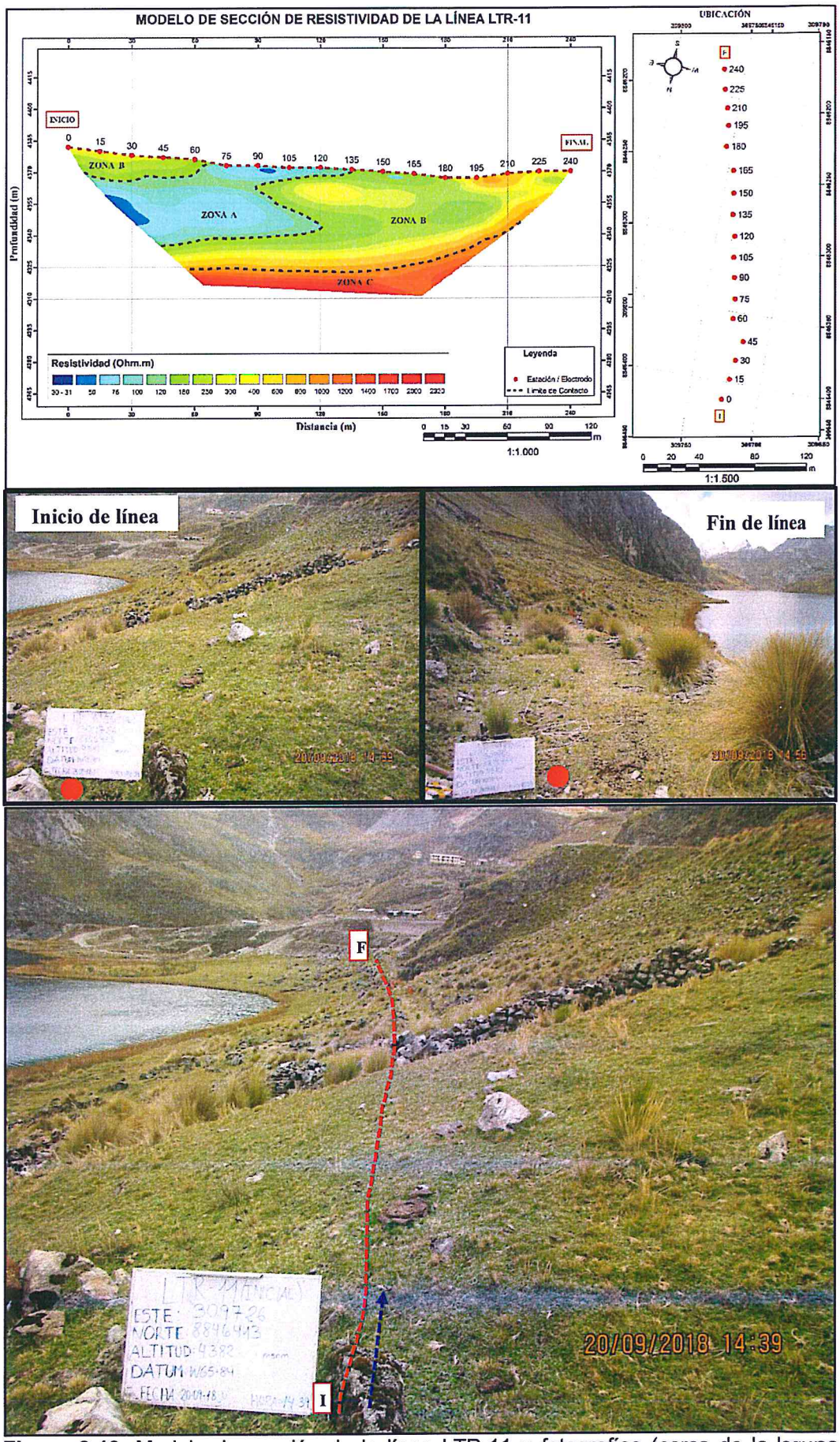


Figura 6-13. Modelo de sección de la línea LTR-11 y fotografías (cerca de la laguna Tinquicocha)

6.12 Interpretación de la tomografía eléctrica – LTR-12

Ubicada cerca del componente ambiental laguna Niñococha, en dirección NE-SW, con una longitud de 225 m, alcanzando una profundidad promedio de investigación de 60 m.

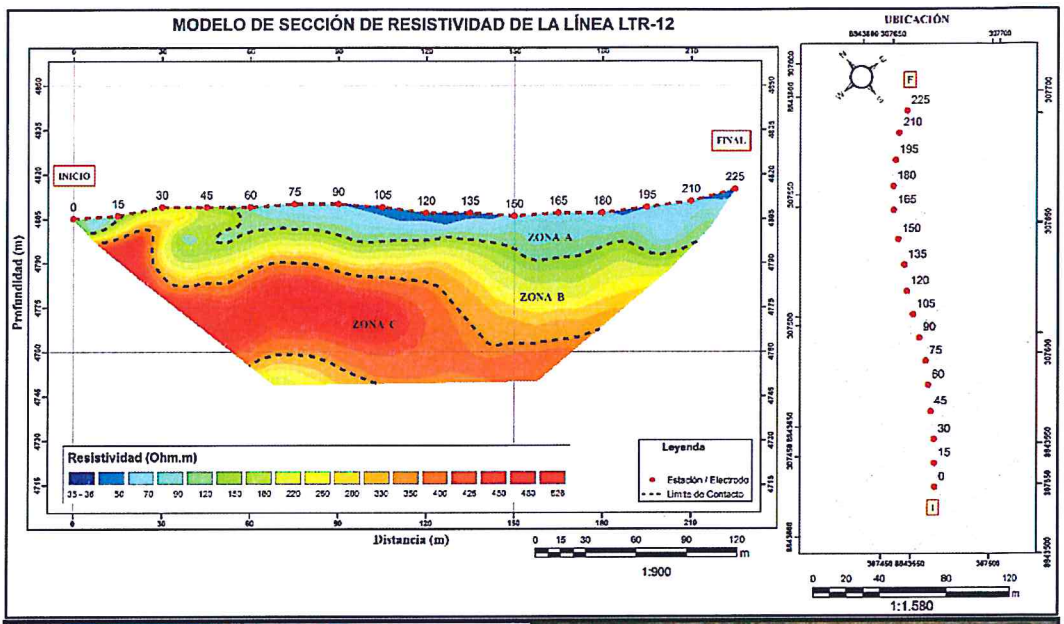
6.12.1 Zonas determinadas en la sección

La sección de tomografía eléctrica muestra la distribución de resistividad (Ohm.m), el cual se ha dividido en 3 zonas, tal como muestra la Figura 6-14.

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (35 a 120 Ohm.m), espesores variables aproximadamente entre 2 a 22 m y estas se ubican entre las estaciones 0 a 15 y 50 a 225 cercanos a la superficie, de los cuales de la estación 45 hasta la 135 podrían estar relacionados a materiales cuaternarios (morrenas); mientras que, a partir de la estación 135 hasta la 225 podrían estar relacionados los primeros metros al material antrópico (desmonte); en esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales; sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, caracterización del componente, muestras de agua y suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 330 Ohm.m), sus espesores son variables de 3 m a 30 m aproximadamente, ubicándose entre las estaciones 15 y 210 a la vecindad de la zona A, además se tiene estos valores entre las estaciones 60 a 105 con espesores de 3 a 9 m en la base de la sección, estos valores podrían estar relacionados a materiales competentes de origen cuaternario compuesto de fragmentos heterogéneos, o una zona de transición a la zona C, con escasa presencia de humedad o rocas afectados por factores geológicos.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (331 a 525 Ohm.m), los espesores varían de 10 a 35 m, entre las estaciones 10 a 180 a lo largo de la base de dicha sección, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos que posiblemente sea el basamento rocoso.



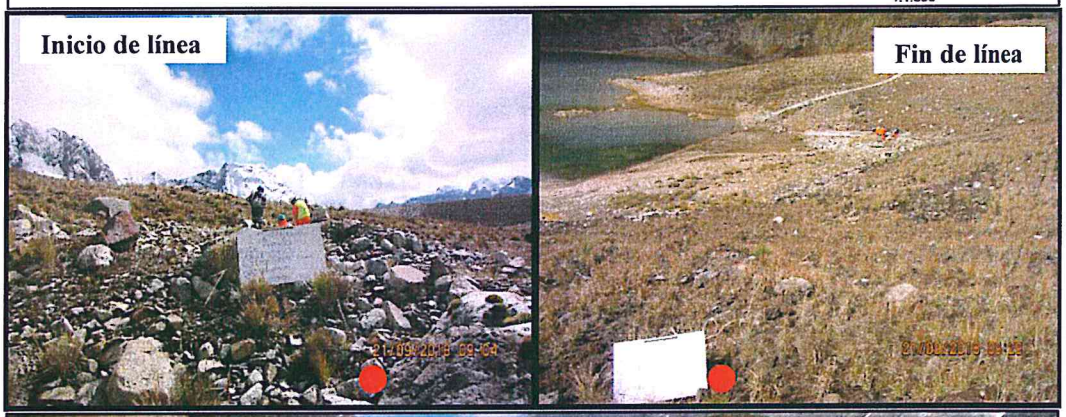




Figura 6-14. Modelo de sección de la línea LTR-12 y fotografías (cerca de la laguna Niñococha)

7. CONSIDERACIONES FINALES

Considerando que estos valores bajos de resistividad estarían relacionados a soluciones ácidas o metales generados por componentes mineros (relaveras, desmontes o pozas), por ende, se recomienda correlacionar los datos de tomografía eléctrica con otros métodos de estudio realizado en campo, a fin tener una mejor interpretación para el monitoreo ambiental de la zona en estudio.

Se realizaron doce tomografías eléctricas distribuidas en 7 áreas. A continuación, se describen los principales resultados en base a los objetivos planteados.

7.1 Tomografía eléctrica LTR-1, LTR-2 y LTR-3

Las secciones de **LTR-1** y **LTR-2** estás ubicadas en el componente minero depósito de desmonte Shucshapá, y la sección de **LTR-3** está ubicada aproximadamente a 50 m aguas abajo del componente minero depósito de desmonte Shucshapá; clasificándose en 3 zonas:

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad (7 a 120 Ohm.m), dichos valores posiblemente estén relacionados a materiales cuaternarios con presencia agua subterránea o humedad; mientras que, los valores inferiores a 25 Ohm.m podrían ser correlacionados con otros parámetros como la geología, muestras de agua y caracterización del componente minero, y con ello definir si dichos valores están relacionados a soluciones ácidas o metales presentes en la zona.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (121 a 1300 Ohm.m), esta zona se ha dividió en dos: *zona B1*, que corresponde a valores que están cercanos a la superficie (espesor promedio de 10 a 12 m), que posiblemente está relacionado al material antrópico del componente minero (desmonte de mina), mientras los valores de la *zona B*, que se encuentra por debajo de la zona A, posiblemente están relacionados a materiales más compactos con menor grado de humedad o rocas que han sido afectados por factores geológicos y una zona de transición a la zona C. Cabe precisar que, este comportamiento se tiene en las líneas LTR-1 y LTR-2; mientras que, en la línea LTR-3 solo se presenta la zona B.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (1301 a 21620 Ohm.m), estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos o roca.

7.2 Tomografía eléctrica LTR-4

La sección de **LTR-4** está ubicada en el componente ambiental laguna Niño Perdido, y se ha clasificado en 3 zonas:

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad **(**26 a 140 Ohm.m**)**, estos valores posiblemente estén relacionados a material de relleno de origen lacustres con filtraciones de agua por lluvia y humedad en la zona, además se tiene estos valores entre las estaciones 200 a 270 (espesores 20 a 60 m) llegan alcanzar mayor profundidad, posiblemente relacionada a fallas o fracturas con presencia de humedad.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad (141 a 800 Ohm.m), estos valores podrían estar relacionados a materiales cuaternarios compactos, posiblemente morrenas antiguas o rocas que han sido afectado por factores geológicos y se comporta como una zona de transición a la zona C.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad (801 a 7825 Ohm.m), estos valores posiblemente estén relacionados a materiales impermeables correspondiente a las rocas intrusivas (granodioritas).

7.3 Tomografía eléctrica LTR-5 y LTR-6

Las secciones de **LTR-5** y **LTR-6** están ubicadas aguas abajo de la laguna Niñococha, cerca al componente minero tajo Primavera, clasificándose en 3 zonas:

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad, entre 8 a 120 Ohm.m en la LTR-6, y entre 32 a 120 Ohm.m en la LTR-5; dichos valores posiblemente estén relacionados a material de relleno de origen antrópico del componente minero (desmontera) y filtraciones de agua por lluvia y humedad; mientras que los valores inferiores a 25 Ohm.m podrían ser correlacionados con otros parámetros como la geología, muestras de agua, muestras de suelo; y con ello definir si dichos valores están relacionados a soluciones ácidas o metales presentes en la zona, cabe resaltar que esto último solo se presenta en la línea LTR-6.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad entre 121 a 1000 Ohm.m, estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos de origen cuaternario (depósitos de morrenas), o una zona de transición con presencia de humedad o la roca que podría estar afectado por factores geológicos (fracturamiento).

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad entre 1001 a 17200 Ohm.m y entre 1001 y 19600 Ohm.m, los espesores varían aproximadamente de 4 a 15 m, entre las estaciones 10 a 100 y se ubica en la parte inferior izquierda de la sección, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales muy compactos que correspondería al basamento rocoso (calizas).

7.4 Tomografía eléctrica LTR-7 y LTR-8.

Las secciones de **LTR-7** y **LTR-8** están ubicadas cerca del componente ambiental laguna Caballococha, clasificándose en 3 zonas:

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad entre 40 a 130 Ohm.m, dichos valores posiblemente estén relacionados a zonas de debilidad producto de factores geológicos y saturadas con agua; en esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales; sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, muestras de agua y suelo. Cabe mencionar que, en la línea LTR-8 no se observaron los valores en mención.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad, entre 131 a 4000 Ohm.m en la LTR-7, y entre 984 a 4000 Ohm.m en la LTR-8, dichos valores podrían estar relacionados a materiales más compactos con presencia de humedad o a la roca sedimentaria (caliza) afectado por factores geológicos (fracturamiento).

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad entre 4001 a 63500 Ohm.m, y entre 4001 a 134340 Ohm.m), estos valores posiblemente estén relacionados a la roca sedimentaria (caliza) impermeable que aflora en la superficie.

7.5 Tomografía eléctrica LTR-9

La sección de **LTR-9** está ubicada cerca del componente minero presa de relaves Nieve Ucro II, y se ha clasificado en 3 zonas:

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad entre 66 a 500 Ohm.m, dichos valores posiblemente estén relacionados a infiltraciones de agua o humedad en la zona revegetada y posible material cuaternario saturado; en esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales; sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, muestras de agua de los piezómetros y suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad entre 501 a 2500 Ohm.m, estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos o la roca sedimentaria (caliza) que posiblemente este afectado por factores geológicos (fracturamiento) con presencia de humedad.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad entre 2501 a 12790 Ohm.m, estos valores posiblemente estén relacionados a la roca sedimentaria (caliza) impermeable.

7.6 Tomografía eléctrica LTR-10 y LTR-11

Las secciones de **LTR-10 y LTR-11** están ubicadas aguas abajo del componente minero depósito de desmonte Tinquicocha, y cerca del componente ambiental laguna Tinquicocha respectivamente; clasificándose en 3 zonas:

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad, entre 2 a 120 Ohm.m en la LTR-10, y entre 30 a 120 Ohm.m en la LTE-11, dichos valores posiblemente estén relacionados a material cuaternario (bofedal) saturado de agua, además se observa valores inferiores a 50 Ohm.m en profundidad que podrían estar relacionados a zonas de debilidad (alto grado de fracturamiento de la roca) con presencia de agua; mientras que, los valores inferiores a 25 Ohm.m podrían ser correlacionados con otros parámetros como la caracterización geológica, muestras de agua y muestras de suelo, con ello definir si dichos valores están relacionados a soluciones ácidas o metales presentes en la zona.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad entre 121 a 800 Ohm.m, estos valores podrían estar relacionados a materiales compactos o la roca sedimentaria (caliza), que posiblemente este afectado por factores geológicos (menor grado de fracturamiento) con presencia de humedad.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad entre 801 a 2480 Ohm.m, dichos valores están en la base de la sección, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos principalmente los que están cercanos a la superficie y roca sedimentaria (caliza) impermeable en profundidad.

7.7 Tomografía eléctrica LTR-12

La sección de **LTR-12** está ubicada cerca del componente ambiental laguna Niñococha, y se ha clasificado en 3 zonas:

Zona A: Correspondiente a valores bajos de resistividad entre 35 a 120 Ohm.m, estas se ubican entre las estaciones 0 a 15 y 50 a 225 cercanos a la superficie, de los cuales de la estación 45 hasta la 135 podrían estar relacionados a materiales cuaternarios (morrenas); mientras que, a partir de la estación 135 hasta la 225 podrían estar relacionados los primeros metros al material antrópico (desmonte); en esta zona no se tiene valores que estén relacionados directamente a soluciones ácidas o metales; sin embargo, se recomienda relacionar estos valores con la caracterización geológica, caracterización del componente, muestras de agua y suelo.

Zona B: Corresponde a valores intermedios de resistividad entre 121 a 330 Ohm.m, estos valores podrían estar relacionados a materiales competentes de origen cuaternario compuesto de fragmentos heterogéneos, o una zona de transición a la zona C con escasa presencia de humedad o rocas afectados por factores geológicos.

Zona C: Corresponde a valores altos de resistividad entre 331 a 525 Ohm.m, estos valores posiblemente estén relacionados a materiales más compactos que posiblemente sea el basamento rocoso.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias D. E., (2012). Relaciones Geoelectricas en la exploración Geotécnica. Universidad Nacional - Sede Medellín – Facultad de Minas.

Bernard, J. (2003). Parameters controlling the depth of investigation, depth of investigation of vertical electrical sounding, depth of investigation of multi-electrode resistivity imaging, depth of investigation of multi-electrode resistivity imaging, with roll along extensions.

Chávez R. E., Cifuentes-Nava G., (2014). Special 3D electric resistivity tomography (ERT) array applied to detect buried fractures on urban areas: San Antonio Tecómitl, Milpa Alta, México. Geofísica Internacional (2014) 53-4: 425-434.

Echavarría (1977). Depósitos de mineral. Universidad de La Plata, Argentina.

Edwards, L.S. (1977). A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. Geophysics, 42, 1020-1036.

Eliseo de la Peña (2009). Prueba de Tomografía Eléctrica como herramienta de Prospección de Acuíferos en Pto. Cumarebo, Edo Falcón", Universidad Simón Bolívar – Sartenejas.

Geosoft. (2007). Montaj Induced Polarization, Induced Polarization and Resistivity Processing Extension for Oasis Montaj 6.4.

Koemer, G.R. (2006). Long Term temperature monitoring of geomembranes at dry and wet landfills, Geosunthetic Institute, Department of Civil Engineering, Drexel University, Philadelphia, PA 19104, USA.

Griffiths, D.H. &Turnbull, J. (1985). A multi-electrode array for resistivity surveying. First Break 3 (No. 7), 16-20.

Dentith, M. & Mudge, S.T. (2014). Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist.

Nelson, E., Forsythe, R. & Arit, I. (1994). Ridge collision tectonics in terrane development, J. S. American Earth Sci., 7, 271-278.

Loke, M.H. (2002). Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys.

Hewitt, P. L. & Philip, L. (1999), Problems of Clay Desiccation in composite Lining System, Department of Earth Sciences, University of Ledds, Leeds United Kingdom.

Yong, R.N. & Thomas, H.R. (1997). «Geoenvironnmental Engineering», Contaminated Ground: fate of pollutants and remediation, Published by Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Services Ltd, 1 Heron Quay, London, E144JD.

Ravelo, D. (2007). Inversión e interpretación de datos de resistividad aparente en 2D, adquiridos en relieves topográficos, Sartenejas, Venezuela.

Ongley, E.D. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. & Keys, D.A. (1986). Applied Geophysics, University of Cambridge, 1986, Electrics properties of rock (page 442).

Atentamente:

KROVER WILIAN LAZARTE PONCE
Tercero Evaluador
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA

RICHARD JULCA CRUZ
Tercero Evaluador
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA

ING. CIP KROVER WILIAN LAZARTE PONCE
Registro 183533 - GEOFISICO