



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

INFORME N° 94 -2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI



A : FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN
Director (e) de Evaluación
DE : FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN
Subdirector (e) de la Línea de Base y Agentes Contaminantes
Coordinador de Evaluaciones Ambientales Integrales

OSCAR ARTURO TEJADA CANO
Especialista de Evaluaciones Ambientales Integrales

MONICA JAIMES BORDA
Tercero Evaluador

LUIS ENRIQUE ESPINOZA CALLE
Tercero Evaluador

ASUNTO : Informe complementario de tomografía geoelectrica desarrollado en el depósito de relaves Quebrada Honda, como parte de la evaluación ambiental de la cuenca Locumba.

REFERENCIA : Planefa 2015

FECHA : Lima, 08 SEP 2016

2016-101-39709

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted con relación al asunto de la referencia, para informar lo siguiente:

I. INFORMACIÓN GENERAL

1. Detalles de la evaluación ambiental:

Table with 5 rows (a-e) and 4 columns. Row a: Zona (Cuenca Locumba). Row b: Ámbito de influencia (Zona fronteriza del distrito de Locumba...). Row c: Problemática de la zona evaluada (Presunta afectación por posible existencia de filtraciones...). Row d: ¿A pedido de qué se realizó la actividad? (Planefa 2015). Row e: ¿Se realizó en el marco de un espacio de diálogo...? (SI, NO, X)



Handwritten signature and initials



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

II. OBJETIVO

2. Evaluar la posible existencia de filtraciones de lixiviados y zonas de acuíferos vulnerables dentro del entorno del depósito de relaves Quebrada Honda ubicado en la cuenca Locumba, mediante el uso del método geofísico de tomografía geoelectrica.

III. ANTECEDENTES

3. Mediante Resolución de Consejo Directivo N° 048-2014-OEFA/CD, publicada el 01 de enero de 2015 en el diario oficial "El Peruano", se aprobó el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Planefa) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) correspondiente al año 2015. En este plan se señala que como parte de la función evaluadora del OEFA, se efectuaría el diagnóstico de la calidad ambiental en forma integrada y continua, con énfasis en aquellas actividades fiscalizadas directamente, a través de estudios ambientales especializados y monitoreos sistematizados de componentes ambientales. Dentro de estas actividades se encuentra la labor minera realizada en la cuenca Locumba.
4. En ese sentido, la Dirección de Evaluación del OEFA consideró de prioridad efectuar un estudio geofísico de tomografía geoelectrica en el depósito de relaves Quebrada Honda, el cual servirá como información adicional y complementaria a la **Evaluación Ambiental de la Cuenca Locumba**¹; dado que en ella se desarrollan importantes actividades económicas productivas que podrían estar generando alguna afectación en su entorno ambiental.

IV. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

5. El análisis se encuentra desarrollado en el Anexo N° 1, referido al Informe complementario de tomografía geoelectrica desarrollado en el depósito de relaves Quebrada Honda, como parte de la evaluación ambiental de la cuenca Locumba.

V. CONCLUSIÓN

6. Mediante el presente Informe, se recomienda la revisión y aprobación del "Informe complementario de tomografía geoelectrica desarrollado en el depósito de relaves Quebrada Honda, como parte de la evaluación ambiental de la cuenca Locumba" que obra como Anexo N°1.



J
M
B

¹ Informe N°00036-2015-OEFA-DE-SDCA-CEAI, aprobado el 17 de diciembre de 2015 por la Dirección de Evaluación del OEFA.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Atentamente,

FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN

Coordinador de Evaluaciones Ambientales
Integrales
Dirección de Evaluación
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- OEFA

MONICA JAIMES BORDA

Tercero Evaluador
Dirección de Evaluación
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- OEFA

OSCAR ARTURO TEJADA CANO

Especialista de Evaluaciones Ambientales
Integrales
Dirección de Evaluación
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- OEFA

LUIS ENRIQUE ESPINOZA CALLE

Tercero Evaluador
Dirección de Evaluación
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- OEFA

Lima, 08 SEP 2016

Visto el Informe N° 94 -2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI y habiéndose verificado que se encuentra enmarcado dentro de la función evaluadora, así como su coherencia normativa; el Subdirector (e) de la Línea de Base y Agentes Contaminantes recomienda su APROBACIÓN a la Dirección de Evaluación, y en consecuencia la Dirección de Evaluación ha dispuesto aprobar el presente Informe.

Atentamente,

FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN

Director (e) de Evaluación
Subdirector (e) de la Línea de Base y Agentes Contaminantes
Dirección de Evaluación
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INFORME COMPLEMENTARIO DE TOMOGRFÍA GEOELÉCTRICA DEL DEPÓSITO DE RELAVES QUEBRADA HONDA DE LA CUENCA DEL RÍO LOCUMBA



COORDINACIÓN DE EVALUACIONES
AMBIENTALES INTEGRALES

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN



Setiembre de 2016



ÍNDICE

1.0.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Objetivo	2
1.3.	Alcance.....	2
1.4.	Área de estudio	2
2.0.	MARCO TEÓRICO	3
2.1.	Propiedades físicas geoelectricas	3
2.1.1.	Resistividad y conductividad	4
2.1.2.	Conductividad electrolítica y porosidad	5
2.2.	Relación entre la resistividad y filtraciones de presas de relaves.....	7
2.3.	Tomografía geoelectrica	7
3.0.	METODOLOGÍA	8
3.1.	Equipos y materiales.....	9
3.2.	Trazo de líneas de tomografía geoelectrica	10
3.3.	Configuración utilizada en el estudio, Polo – Dipolo	11
3.4.	Mediciones en las líneas de tomografía geoelectrica.....	12
3.5.	Procesamiento de datos	12
4.0.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	13
4.1.	Interpretación de la tomografía geoelectrica-1	13
4.2.	Interpretación de la tomografía geoelectrica-2	15
4.3.	Interpretación de la tomografía geoelectrica-3	17
4.4.	Interpretación de la tomografía geoelectrica-4	19
5.0.	CONCLUSIONES	22
6.0.	RECOMENDACIONES	23
7.0.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24



J
M
E

**Índice de Tablas**

Tabla 1-1. Ubicación del depósito de relaves Quebrada Honda.....	2
Tabla 2-1. Valores de resistividad de algunos materiales en ohmios.metro	7
Tabla 2-2. Aplicaciones del método de tomografía geoelectrica	8
Tabla 3-1. Líneas de tomografía geoelectrica	10
Tabla 3-2. Coordenadas de las líneas de tomografía geoelectrica.....	11
Tabla 4-1. Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoelectrica-1 (espaciamiento de 50 metros).....	13
Tabla 4-2. Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoelectrica-2 (espaciamiento de 80 metros).....	16
Tabla 4-3. Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoelectrica-3 (espaciamiento de 80 metros).....	18
Tabla 4-4. Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoelectrica-4 (espaciamiento de 100 metros).....	19

Índice de Figuras

Figura 1-1. Ubicación del área de estudio.....	3
Figura 3-1. Receptor EIREC PRO de 10 canales.....	9
Figura 3-2. Transmisor de corriente - TIP5KW.....	9
Figura 3-3. Ubicación de las líneas de tomografía geoelectrica	11
Figura 4-1. Línea de tomografía geoelectrica-1.....	15
Figura 4-2. Perfil geoelectrico-1	15
Figura 4-3. Línea de tomografía geoelectrica-2.....	17
Figura 4-4. Perfil geoelectrico-2	17
Figura 4-5. Línea de tomografía geoelectrica-3.....	19
Figura 4-6. Perfil geoelectrico-3	19
Figura 4-7. Línea de tomografía geoelectrica-4.....	21
Figura 4-8. Perfil geoelectrico-4	21

**Índice de Anexos**

Anexo A: Cuatro perfiles de tomografía geoelectrica.



Handwritten signatures and initials in blue ink.



1.0. INTRODUCCIÓN

1. Existen muchas formas de explorar geoelectricamente el subsuelo, siendo las de mayor resolución las denominadas técnicas tomográficas, que suponen la utilización de unos dispositivos de medición tales que facilitan la obtención de una imagen o sección de la variación de la resistividad con gran continuidad tanto en vertical y como en sentido lateral. Esta propiedad (resistividad) está intrínsecamente relacionada con la litología, porosidad y contenido en agua de las rocas, por lo que su utilización es fundamental para la determinación de la geometría de los acuíferos, así como para la **evaluación de la calidad de las aguas** (Universidad de Barcelona e Instituto Minero Geológico de España, 2015).
2. En la cuenca Locumba se ubica uno de los centros mineros más importantes del país, como es la unidad minera Toquepala a cargo de la compañía minera Southern Peru Copper Corporation. La mencionada unidad inició sus operaciones en el año 1959. Esta unidad minera, debido a sus actividades y procesos productivos, ha venido generando diversos residuos durante todo este tiempo; siendo uno de ellos, los denominados relaves, los cuales se encuentran constituidos por desecho mineral sólido de un tamaño entre arena y limo, provenientes del proceso de concentración. En este caso estos residuos son transportados y dispuestos en el depósito de relaves Quebrada Honda.
3. El presente estudio geofísico mediante tomografía geoelectrica, tiene como finalidad evaluar las posibles filtraciones de lixiviados y zonas de vulnerabilidad donde se establece el depósito de relaves Quebrada Honda de la compañía minera Southern Peru Copper Corporation; Esta información constituirá el soporte técnico para el inicio de las acciones de supervisión y fiscalización ambiental de acuerdo a las funciones del OEFA.

1.1. Antecedentes

4. Mediante Resolución de Consejo Directivo N° 048-2014-OEFA/CD, publicada el 01 de enero de 2015 en el diario oficial "El Peruano", se aprobó el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Planefa) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) correspondiente al año 2015. En este plan se señala que como parte de la función evaluadora del OEFA, se efectuaría el diagnóstico de la calidad ambiental en forma integrada y continua, con énfasis en aquellas actividades fiscalizadas directamente, a través de estudios ambientales especializados y monitoreos sistematizados de componentes ambientales. Dentro de estas actividades se encuentra la labor minera realizada en la cuenca Locumba.
5. En ese sentido, la Dirección de Evaluación del OEFA consideró de prioridad efectuar un estudio geofísico de tomografía geoelectrica en el depósito de relaves Quebrada Honda, el cual servirá como información adicional y complementaria a la **evaluación ambiental de la cuenca Locumba**²; dado que en ella se desarrollan importantes actividades económicas productivas que podrían estar generando alguna afectación en su entorno ambiental.

² Informe N°00036-2015-OEFA-DE-SDCA-CEAI, aprobado el 17 de diciembre de 2015 por la Dirección de Evaluación del OEFA.



1.2. Objetivo

- 6. Evaluar la posible existencia de filtraciones de lixiviados y zonas de acuíferos vulnerables dentro del entorno del depósito de relaves Quebrada Honda ubicado en la cuenca Locumba, mediante el uso del método geofísico de tomografía geoelectrica.

1.3. Alcance

- 7. El presente estudio especializado consistió en la realización de un estudio geofísico mediante el método de tomografía geoelectrica en la zona del depósito de relaves de Quebrada Honda, perteneciente a la compañía minera Southern Perú Copper Corporation.
- 8. Este trabajo fue realizado durante una salida de campo desarrollada en el mes de diciembre del año 2015. El estudio contempló la validación y ejecución de líneas del perfil geoelectrico, para el estudio de tomografía geoelectrica. Mediante el presente estudio se busca evaluar el depósito de relaves de la unidad minera Toquepala, identificando zonas vulnerables a filtraciones o zonas en las cuales posiblemente ya se esté produciendo tales filtraciones, ya sea en su dique o en su contorno.

1.4. Área de estudio

- 9. El presente trabajo se desarrolló en el ámbito del depósito de relaves Quebrada Honda, ubicada en la confluencia de la quebrada Lloquene con quebrada Honda, en la zona fronteriza del distrito de Locumba, provincia de Jorge Basadre, departamento Tacna con el distrito de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.
- 10. La coordenada de ubicación del depósito de relaves Quebrada Honda se muestra en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Ubicación del depósito de relaves Quebrada Honda

Zona evaluada	Coordenadas UTM Datum - WGS 84 Zona 19 K			Curso de agua principal
	Este	Norte	Elevación (m.s.n.m.)	
Depósito de relaves Quebrada Honda	307 317	8 067 217	1 120	Dique del depósito de relaves de Quebrada Honda



Handwritten signatures in blue ink.

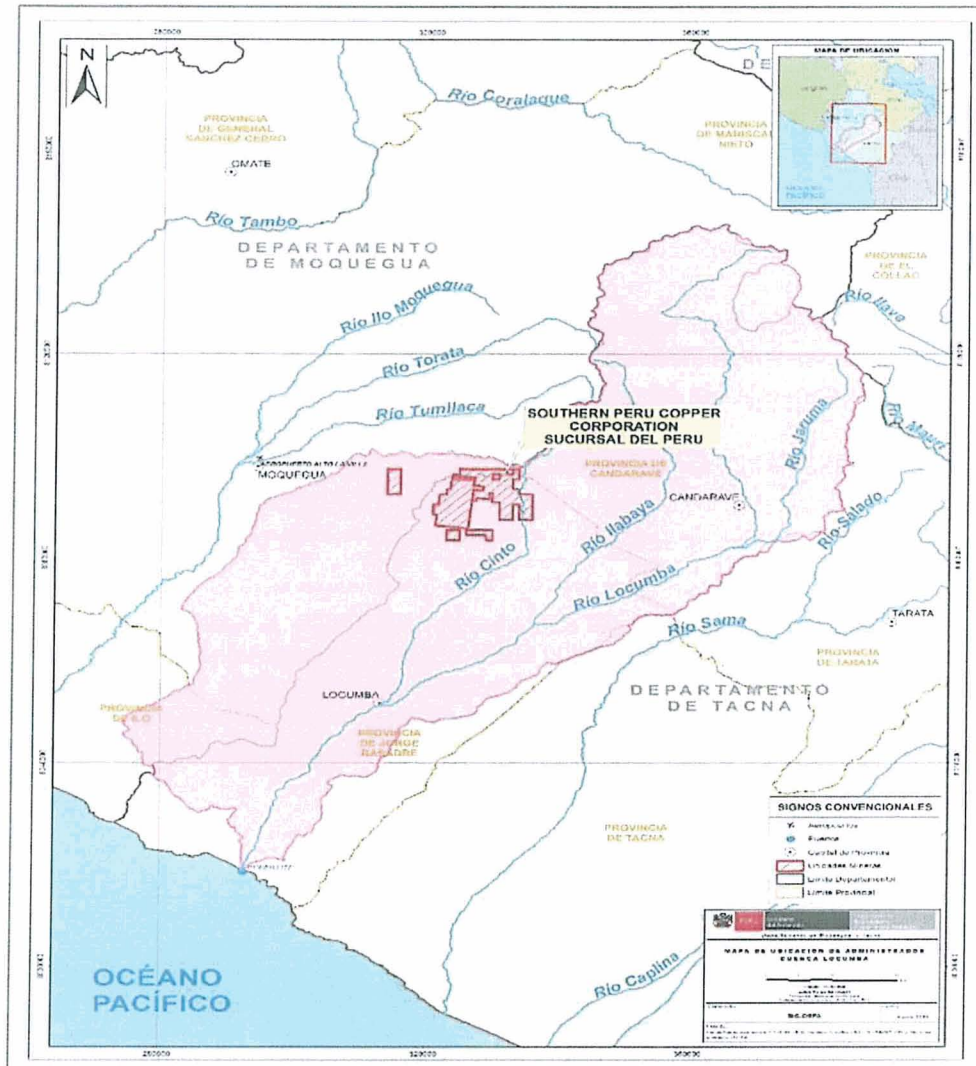


Figura 1-1. Ubicación del área de estudio

Fuente:Elaboración propia.

2.0. MARCO TEÓRICO

13. El presente apartado está dirigido a la presentación de los aspectos teóricos más importantes relacionados con el estudio geofísico mediante el método de tomografía geoelectrica, esto con el fin de facilitar la comprensión de los resultados obtenidos en el presente estudio

2.1. Propiedades físicas geoelectricas

14. Los métodos geofísicos se basan en la medición de campos naturales y artificiales que están influenciados por la distribución de rocas que tienen propiedades físicas diferentes. El conocimiento de las propiedades físicas de los distintos tipos de roca y minerales es un prerrequisito para la interpretación exitosa de técnicas geofísicas. Otro requisito es que exista un contraste suficientemente fuerte entre las propiedades físicas del objeto buscado y las de las rocas que lo contienen (Geuna, 2013).

2.1.1. Resistividad y conductividad

14. La ley de Ohm, que se aplica normalmente a los circuitos eléctricos, explica el principio físico en el que se basan todos los métodos geoelectrónicos:

$$\Delta V = R \cdot I \quad (1.1)$$

Donde:

ΔV = es la diferencia de potencial (en voltios)

R = es la resistencia eléctrica (en Ohmios.metro)

I = es la corriente (en amperios)

15. La resistencia es la relación del voltaje sobre la corriente:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (1.2)$$

16. La resistencia no nos dice nada sobre las dimensiones y la naturaleza del material a través del cual la corriente circula. Para describir la propiedad física de un medio tridimensional, se debe introducir el concepto de resistividad. La resistencia de un medio varía linealmente con la longitud "L" del medio atravesado y de manera inversamente proporcional al área "A" de la superficie atravesada (ver Figura 2-1).

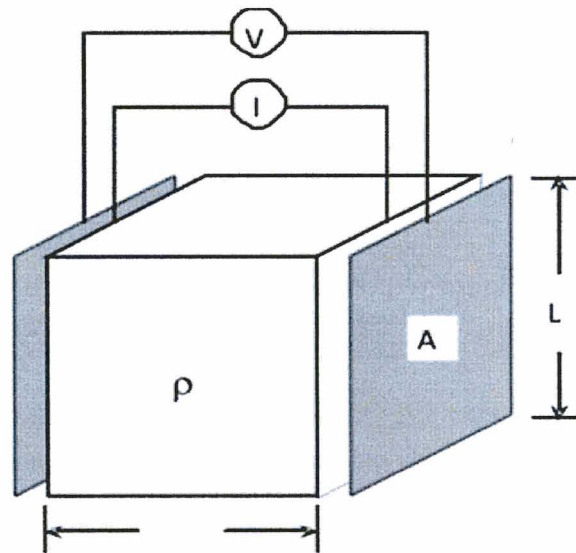


Figura 2-1. Esquema de la resistividad de un medio
Fuente: Elaboración propia.

* ρ es la resistencia R por unidad de volumen.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (1.3)$$

Donde:

ρ = es la constante de proporcionalidad de la resistividad "Rho".

17. Esto nos muestra la dificultad de la corriente en atravesar el medio:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{A}{L} (\Omega - m) \quad (1.4)$$

18. La conductividad es la inversa de la resistividad:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{mho/m}) \text{ Siemens} \quad (1.5)$$

19. La resistividad es la oposición que ofrecen los cuerpos al paso de la corriente eléctrica. En geofísica, el concepto de resistividad aparente es frecuentemente utilizado. Esta no necesariamente es representativa de los valores de resistividad intrínseca de algunos de los elementos constituyentes del suelo, ni de un simple promedio de estos, constituye un medio de normalización de medidas en función de la geometría del sistema de medición. La resistividad aparente está definida por:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \cdot K (\Omega - m) \quad (1.6)$$

Donde:

K = es el factor geométrico de la configuración de electrodos utilizado.

20. La relación entre la resistividad aparente y la resistividad verdadera, es una relación compleja. Para determinar la resistividad verdadera del subsuelo a partir de los valores de la resistividad aparente, se aplica la técnica de la "inversión" (ver Punto 3.5) (Loke, 2004), generando así imágenes del subsuelo representados por los valores de resistividad verdadera de las diferentes zonas o estructuras del subsuelo.

2.1.2. Conductividad electrolítica y porosidad

21. Se distingue en los minerales y en las rocas dos clases de conductividad: i) la metálica o electrónica, la misma que posee ciertos minerales que conducen electricidad a través de electrones y ii) la conductividad electrolítica la que conduce corriente eléctrica siempre y cuando el material contenga agua, en este caso existe transporte de iones con el paso de la corriente y en función de la cantidad de sales ionizadas disueltas en ellas.
22. Los materiales geológicos que constituyen el subsuelo se caracterizan por presentar unos valores de resistividad eléctrica en función a: i) la composición litológica de las partículas minerales, ii) la porosidad, iii) el contenido de agua y sales en ella. En estas condiciones la resistividad aparente de la roca se relaciona directamente con la resistividad eléctrica del fluido contenido en sus poros a través de la ecuación de



Archie mediante el denominado factor de formación, de la siguiente forma: (Busquet et al., 1996):

$$\rho_a = F \rho_w \quad (1.7)$$

Donde:

ρ_a = es la resistividad aparente global del terreno

F = es la resistividad aparente del fluido contenido en los poros

ρ_w = es el factor de formación de una roca y depende a su vez de:

$$F = a \varphi^{-m} S^{-2} \quad (1.8)$$

Donde:

φ = es la porosidad

S = es el grado de saturación de los poros

a Y m son constantes empíricas que dependen de la textura de la roca

23. En depósitos no consolidados, la resistividad aumenta si se incrementa el tamaño de la granulometría predominante, pero en todos los casos, la resistividad en las rocas disminuye dependiendo el contenido de agua mineralizada en sus poros. (E. Custodio / M. R. Llamas, 2001).
24. Los depósitos no consolidados se refieren a fragmentos de roca y granos de minerales que varían desde fracciones de milímetros (tales como arcillas, limos y arenas finas) hasta varios decímetros. (E. Custodio / M. R. Llamas, 2001).
25. Al contrario, las rocas consolidadas (comúnmente llamadas "roca fresca") consisten en partículas minerales que han sido litificadas por el calor y la presión, o han sido cementados por reacciones químicas y precipitación de sustancias disueltas dentro de la masa sólida. (E. Custodio / M. R. Llamas, 2001).
26. Las resistividades de las capas de sedimentos pueden ser relacionadas con la naturaleza u origen de las mismas, además de ello, en caso que se trate de sedimentos no consolidados, la resistividad puede estar relacionada al contenido de agua en sus poros o fracturas, al contenido salino del agua y al tamaño de los granos de los depósitos. (E. Custodio / M. R. Llamas, 2001).
27. La mayoría de minerales formadores de rocas son aislantes (silicatos, carbonatos, etc.), estos minerales son considerados dieléctricos, es decir tienen unos valores de resistividad eléctrica muy elevados.



28. En estas condiciones la resistividad aparente depende esencialmente de la porosidad y de la conductividad de fluidos contenidos en sus poros, condicionados en parte por procesos geológicos.
29. Las rocas de una misma génesis presentan valores de resistividad que varían dentro de ciertos rangos típicos, lo que permite caracterizarlas. Tabla 2-1 muestra las resistividades de algunos medios o tipos de materiales.

Tabla 2-1. Valores de resistividad de algunos materiales en ohmios.metro

Tipo de agua y roca	Resistividad ($\Omega.m$)
Aguas subterráneas en granito y roca hipogénica	20 - 100
Aguas subterráneas en caliza y acarreos	20 - 50
Aguas salobres	1 - 10
Aguas potables superficiales	20 - 300
Agua del mar	menor de 0,2
Agua destilada	mayor de 500
Arcillas y margas	10 - 100
Calizas y areniscas	50 - 3 000
Pizarras	50 - 300
Rocas hipogénicas y metamórficas	100 - 10 000
Gravas	100 - 10 000
Arenas	130 - 1 000
Limos	30 - 500

Fuente: E. Custodio / M. R. Llamas, 2001.



2.2. Relación entre la resistividad y filtraciones de presas de relaves.

30. Las filtraciones que se generarían en presas de relaves, generalmente sustancias químicas inorgánicas, suelen producir un incremento de los iones disueltos, disminuyendo así, el valor de la resistividad del conjunto. La existencia de filtraciones pueden ser detectables, ya que un aumento de 25 miligramos por litro en la concentración total de sólidos disueltos en el agua da lugar aproximadamente a un aumento de la conductividad eléctrica aparente de 1 miliSiemen/metro (Busquet *et al.*, 1996).

31. Si las filtraciones están formadas por compuestos orgánicos, la resistividad aparente del terreno en vez de disminuir aumentará ligeramente, pero puede pasar inadvertida a la exploración eléctrica si las concentraciones no son elevadas (Busquet *et al.*, 1996).

2.3. Tomografía geoelectrica

32. La tomografía geoelectrica es una técnica geofísica que tiene por objetivo específico determinar la distribución de la resistividad real del subsuelo. La tomografía pretende obtener una imagen de las propiedades eléctricas del subsuelo, para lograr ello se

utiliza una serie de electrodos³ hincados en el suelo a un intervalo igual de separación a lo largo de una línea de perfil (Arias, 2002). Todo ello a través de inyección y recepción de corriente continua al terreno.

33. El rango de estudio puede variar desde algunos metros de profundidad hasta centenares de metros, ello dependerá de la separación de los electrodos, a mayor separación, la profundidad de investigación se incrementará (Arias, 2002).
34. La información obtenida es procesada e interpretada con la ayuda de programas de cómputo, mediante esta metodología se obtiene un modelo en dos dimensiones (2-D) el cual toma en cuenta los cambios de resistividad⁴ en la dirección vertical y en la dirección horizontal, los cuales son obtenidos a lo largo de la línea de investigación (Arias, 2002). Asimismo, su uso empieza a ser común en el ámbito del medio ambiente (contaminación de suelos y acuíferos), la hidrogeología entre otros campos (López *et al.*, 2007).
35. La gama de aplicaciones de este método es muy amplia. En la Tabla 2-2 presentamos algunas de ellas.

Tabla 2-2. Aplicaciones del método de tomografía geoelectrica

Área	Aplicación
Medio Ambiente	Detección de plumas de contaminación
	Caracterización de vertederos
Obra Civil	Detección de cavidades
	Servicios enterrados
	Resistividades geoelectricas del subsuelo
	Corrientes telúricas
Geología, Hidrogeología y Arqueología	Estratigrafía del terreno
	Localización del nivel freático
	Detección de estructuras geológicas
Recursos Naturales	Evaluación de reservas de áridos
	Evaluación de yacimientos de rocas ornamentales
	Evaluación de otros yacimientos

Fuente: Elaboración propia.

3.0.METODOLOGÍA

36. Para el cumplimiento del objetivo planteado en el presente estudio, se optó por utilizar el método de "tomografía geoelectrica" debido a su amplia gama de aplicaciones, sobretudo en geología e hidrogeología.

³ Estacas de acero de aproximadamente un (1) metro de largo y cinco (5) centímetros de diámetro introducidos parcialmente al terreno, favoreciendo la conducción de la corriente eléctrica.

⁴ Capacidad que tienen los cuerpos a oponerse al paso de la corriente eléctrica.



[Handwritten signatures]

3.1. Equipos y materiales

37. El equipo de tomografía utilizado en el presente estudio estuvo compuesto por:
- Un receptor;
 - Un transmisor;
 - Un motor generador; y
 - Accesorios (cables, electrodos, radios Motorola, etc.).
38. El receptor tiene la capacidad de medir y registrar las resistividades obtenidas con apoyo de un software informático instalado en un ordenador portátil. El transmisor estabiliza y gradúa, según las condiciones del medio, la corriente eléctrica de emisión al terreno alimentado por un motogenerador de corriente.
39. Las fotografías de estos equipos se pueden observar en la Figura 3-1 y Figura 3-2.



Figura 3-1. Receptor EIREC PRO de 10 canales
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3-2. Transmisor de corriente - TIP5KW
Fuente: Elaboración propia.



J
ml
el



3.2. Trazo de líneas de tomografía geoelectrica

40. Las actividades de campo consistieron en realizar cuatro (4) líneas de tomografía geoelectrica⁸. La extensión de estas líneas fueron definidas de acuerdo a los accesos existentes en la zona. El espaciamiento entre los electrodos fue determinado de acuerdo al nivel de detalle requerido. A menor espaciamiento entre los electrodos, mayor el nivel de detalle en las mediciones.
41. La Tabla 3-1 presenta los detalles del trazo de cada línea, tales como su extensión y el espaciamiento entre los electrodos.

Tabla 3-1. Líneas de tomografía geoelectrica

Líneas	Extensión (m)	Espaciamiento (m)
Línea 1	750	50
Línea 2	1 280	80
Línea 3	1 040	80
Línea 4	2 800	100

Fuente: Elaboración propia.



42. Para la ubicación de las líneas de tomografía geoelectrica, se procedió primero a realizar un recorrido por toda la zona de influencia del depósito de relaves; con la finalidad de determinar las zonas accesibles para realizar los trabajos de campo (ver Figura 3-3).



43. En cada línea de tomografía eléctrica se colocaron una serie de electrodos, los cuales consisten en estacas de acero de aproximadamente un (1) metro de largo y cinco (5) centímetros de diámetro, introducidos parcialmente al terreno; favoreciendo así la conducción de la corriente eléctrica.

⁸ La línea de tomografía geoelectrica es una línea de investigación geofísica colocada sobre el terreno, en la cual se colocan una serie de electrodos, delimitando la extensión del perfil geoelectrico que se desea obtener.

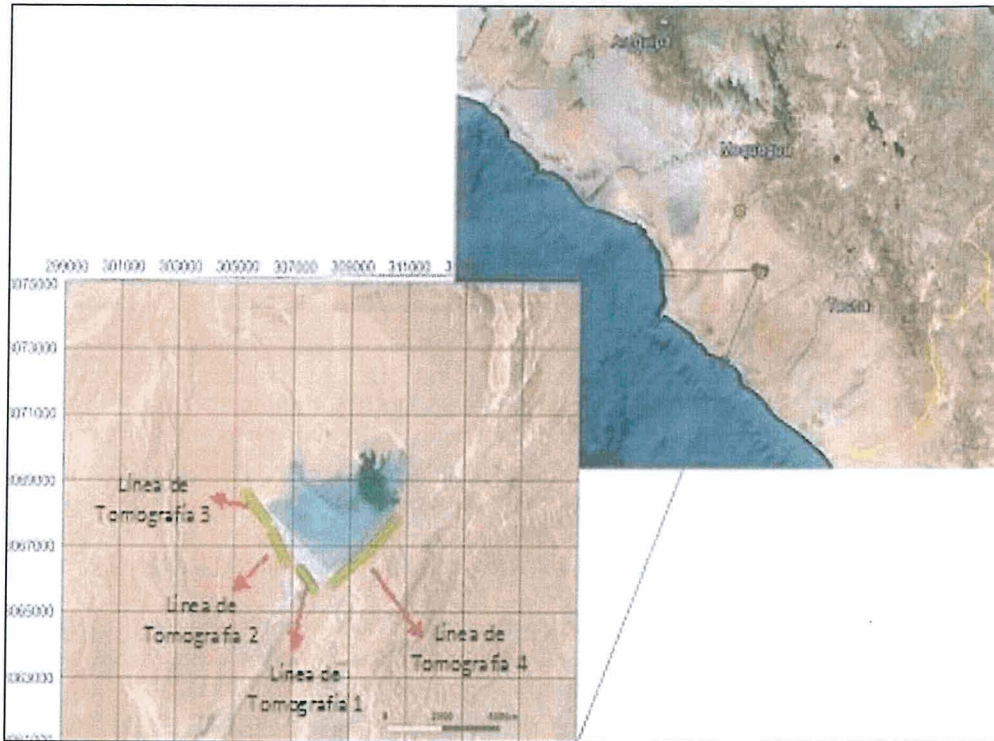


Figura 3-3. Ubicación de las líneas de tomografía geoelectrica

Fuente: Elaboración propia.

44. Las coordenadas geográficas de las líneas de tomografía geoelectrica se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Coordenadas de las líneas de tomografía geoelectrica

Línea	Punto	Distancia (m)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
			Este	Norte	
TG-01	Inicio	0	307 936	8 065 742	1 115
	Final	750	307 427	8 066 370	1 095
TG-02	Inicio	0	306 927	8 066 517	1 111
	Final	1 280	306 331	8 067 640	1 155
TG-03	Inicio	0	306 212	8 067 831	1 166
	Final	1 040	305 489	8 068 602	1 198
TG-04	Inicio	0	308 591	8 065 945	1 223
	Final	2 800	310 800	8 067 930	1 168

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Configuración utilizada en el estudio, Polo – Dipolo

45. Se llama configuración de electrodos al patrón según el cual los electrodos de emisión de corriente y de recepción de potencial son dispuestos sobre el suelo para efectuar las mediciones de resistividad.





46. La configuración Polo–Dipolo tiene buena cobertura horizontal, la fortaleza que ofrece su señal, es significativamente más alta comparada con otras configuraciones y esta a su vez, no es tan sensible al ruido telúrico. (López, 1999).
47. La configuración Polo-Dipolo requiere de un electrodo remoto (infinito) para la inyección de corriente al terreno, este electrodo debe ponerse lo suficientemente lejos de la línea del sondeo para facilitar una profundidad de investigación mayor. (López, 1999)

3.4. Mediciones en las líneas de tomografía geoelectrica

48. Para la obtención de los perfiles geoelectricos se realizaron mediciones en las líneas de tomografía geoelectrica tomando en cuenta lo siguiente:
 - Las lecturas obtenidas de la emisión de corriente enviada por el transmisor a través del cable de corriente y electrodos hacia el terreno.
 - La recepción de potencial eléctrico y registro de valores a través del receptor.
49. El proceso de medición se llevó acabo de la siguiente manera: El operador del transmisor (Tx), realizará el envío de corriente a solicitud del operador del receptor (Rx) y siempre en coordinación con el personal de apoyo encargado de los cables de corriente. La confirmación del envío de corriente es indicado al personal de corriente para que no toquen los cables mientras se envía energía y junto a esta indicación se da el valor de la intensidad de corriente (expresado mA) al operador de Rx. Este valor es ingresado al Rx y se realiza las mediciones, en cada medida se deberá considerar los valores de resistividad y cargabilidad. Una vez registrado y almacenado en el receptor, el operador de Rx indica al Operador de Tx para que corte el flujo de corriente y este a su vez indicará al personal de cable de corriente que la corriente está cortada y pueden avanzar al siguiente punto, de esta manera completar la línea de investigación del subsuelo.
50. Los datos obtenidos en campo se almacenan en la memoria del receptor, en el que se consignan la ubicación de cada línea, los electrodos de medida, los electrodos de emisión de corriente, los valores la intensidad de corriente emitida, el voltaje primario, el número de repeticiones de intervalos de lecturas, el tiempo de domino de las lecturas y los valores de resistividad aparente.

3.5. Procesamiento de datos

51. El análisis de los resultados está compuesto por dos etapas, la primera una revisión de los datos y la segunda un proceso de inversión que nos da como resultado la obtención de los perfiles geoelectricos.
 - **Revisión de datos**
52. En esta etapa se validan los datos y se eliminan valores incoherentes o ruidos generados por factores externos como: malas conexiones y errores de valores de intensidad. Se validan los valores de diferencias de potencial mayores a 0,1 mV.



[Handwritten signatures]



- **Proceso de inversión**

53. Para este proceso se utiliza el Software RES2DINV, de la empresa GEOTOMO. El programa utiliza técnicas y métodos numéricos relacionados a procesos de inversión para producir un modelo 2D.
54. La base de datos previamente validada y empleada para la generación de pseudo-secciones (perfiles geoelectricos) será exportada a un formato específico para el proceso de inversión, en el cual se transforman las resistividades aparentes obtenidas de la salida de campo, a valores de resistividad real, obteniendo de esta manera, una solución más precisa para las anomalías determinadas.

4.0. RESULTADOS Y DISCUSIONES

55. El análisis de resultados se realizó en base a los cuatro (04) perfiles de tomografía eléctrica, para lo cual se tomó como referencia los rangos descritos en la Tabla 2-2 para establecer zonas con características de humedad, agua o zonas influenciadas por posibles filtraciones, así como zonas semiconsolidadas o consolidadas. Las tomografías geoelectricas-1, 2 y 3 fueron realizadas al pie del talud del depósito de relaves, mientras que la tomografía geoelectrica-4 ubicada en su borde derecho. Estos perfiles de tomografía geoelectrica son descritos a continuación.

4.1. Interpretación de la tomografía geoelectrica-1

56. Ejecutada al pie del talud del depósito de relaves, en su margen izquierda (ver Figura 4-1). El perfil eléctrico fue ejecutado con una longitud de 750 metros y espaciamiento entre electrodos de 50 metros. Estos valores nos permitieron obtener una profundidad de investigación de 200 metros. En la Tabla 4-1 se presentan las ubicaciones de los puntos de medición de la línea geoelectrica-1.

Tabla 4-1. Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoelectrica-1 (espaciamiento de 50 metros)

Punto	Distancia (m)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
0	0	3 07936	8 065 742	1 115
1	50	3 07900	8 065 785	1 086
2	100	3 07867	8 065 824	1 069
3	150	3 07829	8 065 864	1 061
4	200	3 07794	8 065 908	1 061
5	250	3 07760	8 065 955	1 064
6	300	3 07725	8 065 998	1 068
7	350	3 07689	8 066 040	1 070
8	400	3 07658	8 066 078	1 073
9	450	3 07627	8 066 120	1 075
10	500	3 07595	8 066 157	1 075
11	550	3 07565	8 066 204	1 076
12	600	3 07527	8 066 243	1 078
13	650	3 07495	8 066 283	1 080
14	700	3 07463	8 066 328	1 083





Punto	Distancia (m)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
15	750	3 07427	8 066 370	1 095

Fuente: Elaboración propia.

57. Esta zona, geológicamente, presenta materiales de las mismas características; aunque de acuerdo a los resultados obtenidos de la tomografía geoelectrica, se puede observar que el perfil presenta humedad o lixiviados. Estos probablemente provengan del depósito de relaves, cuyas características se mencionan a continuación:

1ra estructura

58. Conformada desde la parte superficial y en profundidad, y solamente está diferenciada por los valores de resistividad de acuerdo a los elementos lixiviados del depósito de relaves, así como de los materiales de la formación Moquegua⁹.

- **Espesor de la 1ra estructura**

59. Su espesor promedio es de 200 metros.

- **Valores de resistividad**

60. En este perfil, se presenta dos zonas con mayor notoriedad con presencia de filtraciones:

61. Una zona (de color azul en la Figura 4-2), con valores de resistividad de 6,5 a 33,1 Ω .m, que de acuerdo a estos valores, está influenciada por la presencia de filtraciones provenientes del depósito de relaves.

62. Otra zona (de color gris en la Figura 4-2), con valores de resistividad de 0,11 a 6,5 Ω .m, que también estaría influenciada por la presencia de filtraciones, pero con mayor contenido de lixiviados, debido a sus valores bajos de resistividad (ver Figura 4-2).



Handwritten signatures in blue ink.

⁹ La formación Moquegua está compuesta por una serie de capas continentales como arcillas, areniscas, conglomerados, areniscas tufáceas y tufos de color rojizo a blanco amarillento (Adams, 1908).

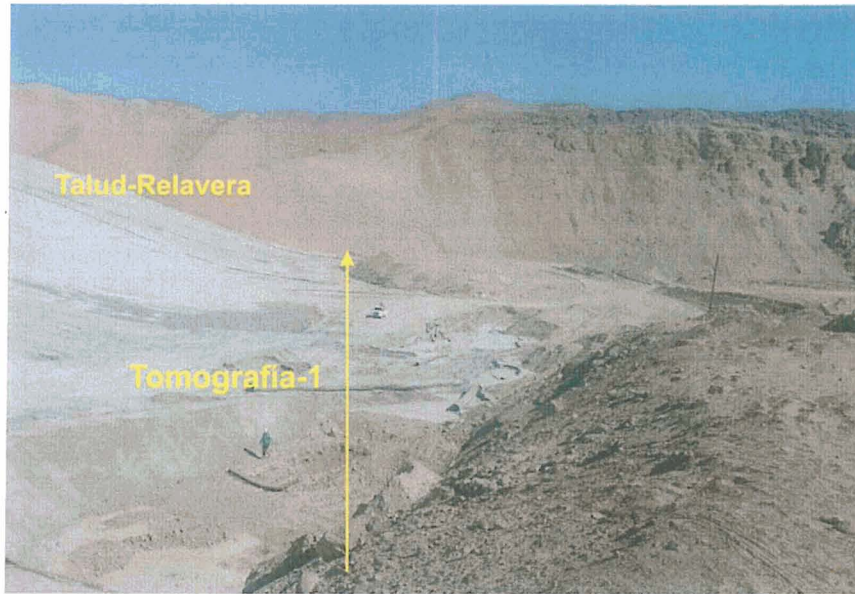


Figura 4-1. Línea de tomografía geoelectrica-1

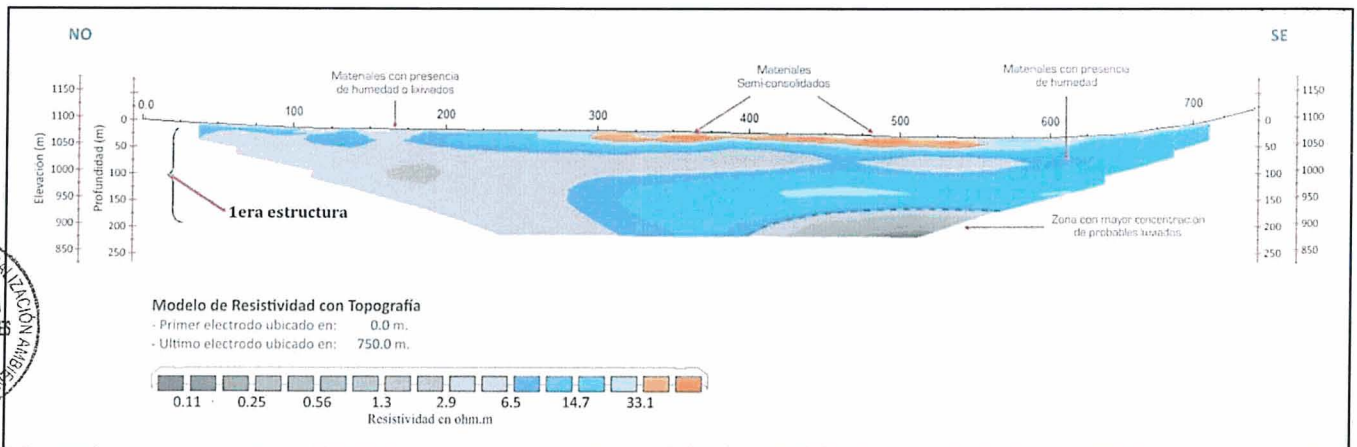


Figura 4-2. Perfil geoelectrico-1

4.2. Interpretación de la tomografía geoelectrica-2

63. Ejecutada en la parte media al pie del talud del depósito de relaves (ver Figura 4-3). Esta tomografía tuvo una longitud de 1 440 metros y un espaciamento entre electrodos de medida de 80 metros. Estos valores nos permitieron obtener una profundidad de investigación de 320 metros. Se realizó el mencionado espaciamento para poder alcanzar mayor profundidad de investigación.
64. En la Tabla 4-2, se presentan las coordenadas (UTM, zona 19), de cada punto de medición de la línea de tomografía geoelectrica-2.

Tabla 4-2. Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoelectrica-2
(espaciamiento de 80 metros)

Punto	Distancia (m)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
0	0	306 927	8 066 517	1 111
1	80	306 890	8 066 583	1 111
2	160	306 855	8 066 653	1 113
3	240	306 819	8 066 723	1 117
4	320	306 781	8 066 796	1 120
5	400	306 745	8 066 865	1 122
6	480	306 707	8 066 935	1 125
7	560	306 668	8 067 006	1 129
8	640	306 631	8 067 076	1 133
9	720	306 595	8 067 148	1 137
10	800	306 558	8 067 218	1 140
11	880	306 520	8 067 290	1 143
12	960	306 483	8 067 361	1 146
13	1 040	306 445	8 067 430	1 150
14	1 120	306 408	8 067 501	1 150
15	1 200	306 369	8 067 570	1 150
16	1 280	306 331	8 067 640	1 155

Fuente: Elaboración propia.



65. En la Figura 4-4 se muestran dos estructuras, cuyas características se mencionan a continuación:

1ra estructura

- **Espesor de la 1ra estructura**

66. Tiene un espesor promedio de 70 metros.

- **Valores de resistividad**

67. De 176 a 2 689 Ω .m, que de acuerdo a estos valores, son materiales consolidados que no están influenciados por las filtraciones del depósito de relaves. Se presenta en toda la superficie del perfil.

2da estructura

- **Espesor de la 2da estructura**

68. Esta zona con estas características, tiene un espesor promedio de 250 metros, el cual continúa en profundidad.

- **Valores de resistividad**

69. De 0,84 a 176 Ohm.m, que de acuerdo a estos valores esta zona presenta humedad o filtraciones de lixiviados, probablemente provenientes del depósito de relaves.



J
M
E

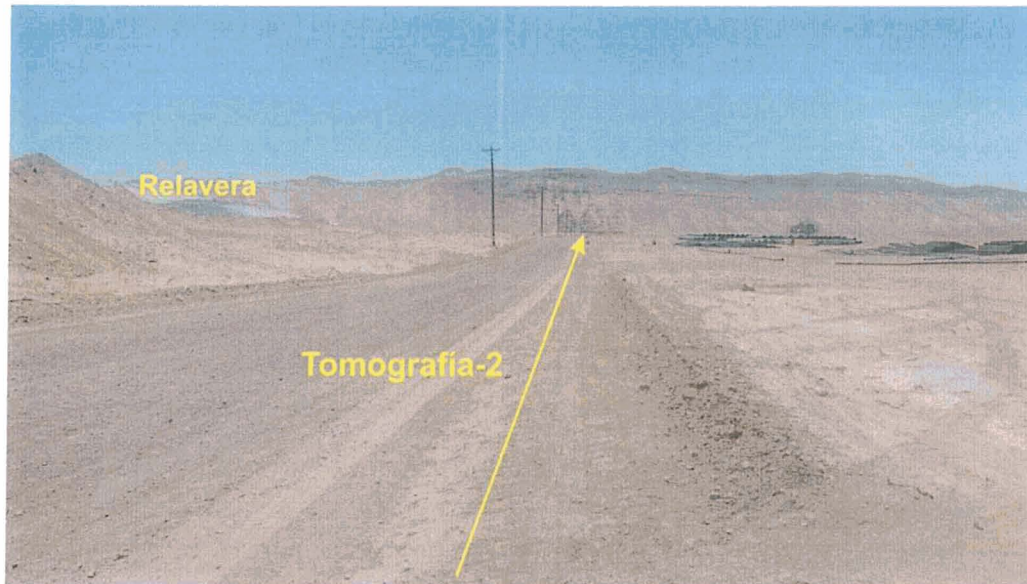


Figura 4-3. Línea de tomografía geoelectrica-2

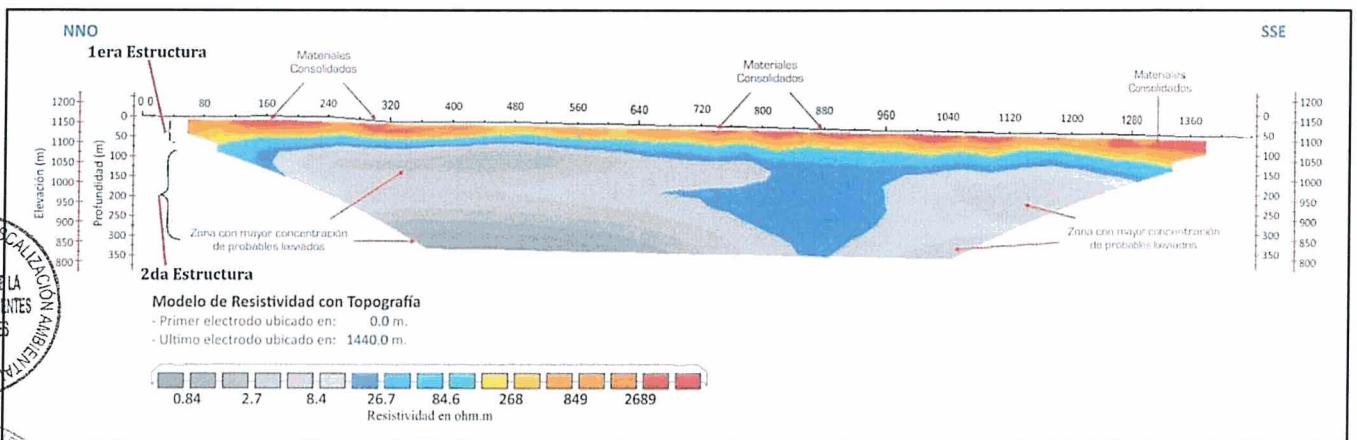


Figura 4-4. Perfil geoelectrico-2

4.3. Interpretación de la tomografía geoelectrica-3

70. Ejecutada al pie del talud del depósito de relaves, en su margen derecha (Ver Figura 4-5). La longitud fue de 1 040 metros, con espaciamento entre electrodos de medida de 80 metros. Estos valores nos permitieron obtener una profundidad de investigación de 320 metros.
71. En la Tabla 4-3, se presentan las coordenadas (UTM, zona 19) de cada punto de medición de la tomografía geoelectrica-3, el espaciamento de los puntos es de 80 metros.

**Tabla 4-3.** Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoelectrica-3
(espaciamiento de 80 metros)

Punto	Distancia (m)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
0	0	306 212	8 067 831	1 166
1	80	306 155	8 067 890	1 168
2	160	306 098	8 067 950	1 171
3	240	306 041	8 068 008	1 173
4	320	305 986	8 068 065	1 175
5	400	305 931	8 068 129	1 176
6	480	305 876	8 068 189	1 179
7	560	305 820	8 068 250	1 182
8	640	305 767	8 068 314	1 184
9	720	305 710	8 068 375	1 187
10	800	305 652	8 068 429	1 191
11	880	305 595	8 068 486	1 193
12	960	305 538	8 068 545	1 196
13	1 040	305 489	8 068 602	1 198

Fuente: Elaboración propia.

72. En la Figura 4-6 se muestran dos estructuras, cuyas características se mencionan a continuación:

1ra estructura

- **Espesor de la 1ra Estructura**

73. Tiene un espesor promedio de 70 metros.

- **Valores de resistividad**

74. De 64,3 a 860 Ohm; de acuerdo a estos valores, presenta materiales consolidados, que no están influenciados por las filtraciones del depósito de relaves. Los materiales corresponderían a gravas con mezcla de arenas y gravas. Se presenta en toda la superficie del perfil.

2da estructura

- **Espesor de la 2da estructura**

75. Esta zona con estas características, tiene un espesor promedio de 250 metros, el cual continúa en profundidad.

- **Valores de resistividad**

76. De 0,84 a 64,3 Ohm; de acuerdo a estos valores, esta zona presenta humedad o filtraciones de lixiviados, probablemente provenientes del depósito de relaves. Esta zona se presenta en toda la extensión del perfil, subyaciendo a la primera estructura.



f

Mh

Ej

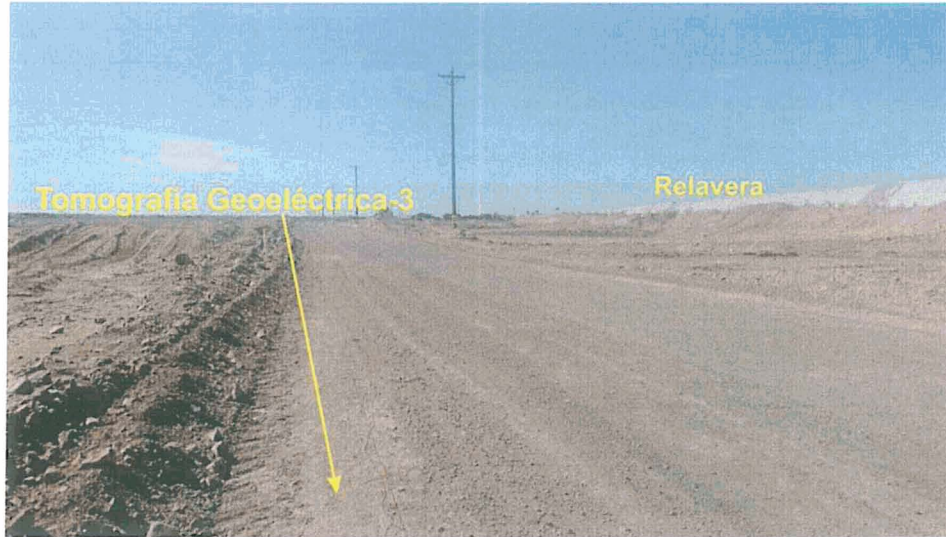


Figura 4-5. Línea de tomografía geoeléctrica-3

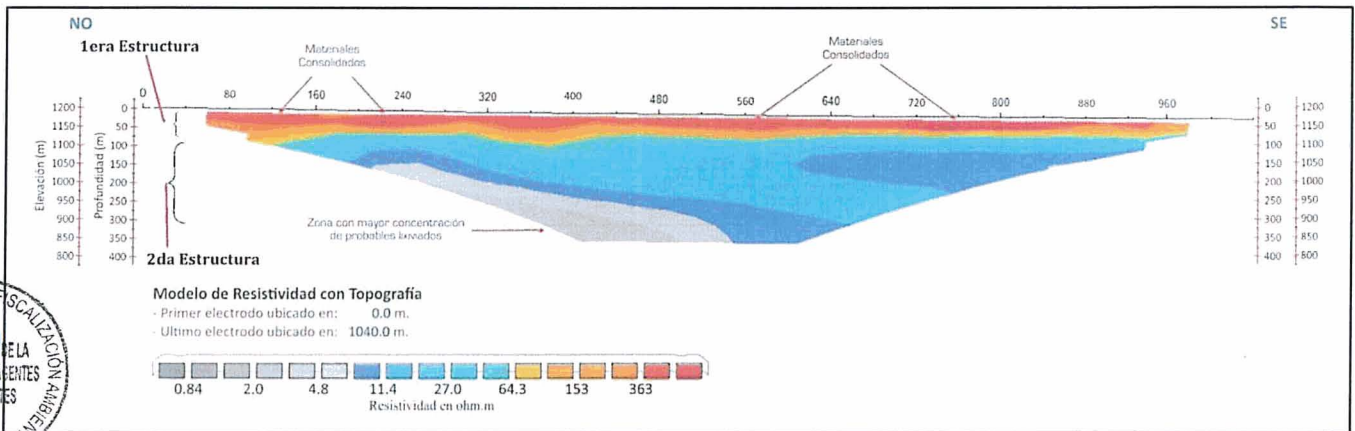


Figura 4-6. Perfil geoeléctrico-3

4.4. Interpretación de la tomografía geoeléctrica-4

- 77. Ejecutada en el borde derecho del depósito de relaves (Figura 4-7). La longitud de la línea de tomografía geoeléctrica-4 fue de 2 800 metros con espaciamentos entre electrodos de 100 metros. Estos valores nos permitieron obtener una profundidad de investigación de 400 metros.
- 78. En la Tabla 4-4, se presentan las coordenadas (UTM, Zona 19), de cada punto de medición de la tomografía geoeléctrica-4, el espaciamento de los puntos es de 100 metros.

Tabla 4-4. Ubicación de los puntos de medición de la tomografía geoeléctrica-4 (espaciamento de 100 metros)

Punto	Distancia (m)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
0	0	308 591	8 065 945	1 223



"Año de la Consolidación del Mar de Grau"
"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"

Punto	Distancia (m)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
1	100	308 667	8 066 011	1 221
2	200	308 741	8 066 081	1 215
3	300	308 815	8 066 150	1 209
4	400	308 890	8 066 220	1 212
5	500	308 969	8 066 284	1 215
6	600	309 045	8 066 356	1 216
7	700	309 123	8 066 424	1 209
8	800	309 202	8 066 496	1 205
9	900	309 280	8 066 566	1 204
10	1 000	309 357	8 066 640	1 192
11	1 100	309 452	8 066 708	1 187
12	1 200	309 533	8 066 767	1 184
13	1 300	309 605	8 066 816	1 183
14	1 400	309 689	8 066 886	1 184
15	1 500	309 776	8 066 945	1 185
16	1 600	309 851	8 067 014	1 188
17	1 700	309 932	8 067 085	1 190
18	1 800	310 012	8 067 155	1 179
19	1 900	310 094	8 067 235	1 170
20	2 000	310 173	8 067 305	1 174
21	2 100	310 247	8 067 381	1 176
22	2 200	310 322	8 067 464	1 173
23	2 300	310 396	8 067 550	1 169
24	2 400	310 467	8 067 625	1 166
25	2 500	310 545	8 067 694	1 169
26	2 600	310 628	8 067 781	1 168
27	2 700	310 705	8 067 855	1 168
28	2 800	310 800	8 067 930	1 168

Fuente: Elaboración propia.

79. En la Figura 4-8, se muestran los resultados de línea de tomografía geoelectrica en la que se observa una sola estructura, la cual está diferenciada solamente por la presencia de lixiviados o la humedad proveniente del depósito de relaves y cuyos materiales corresponden a la formación Moquegua. Con fines de su explicación se los ha dividido en dos estructuras cuyas características se describen a continuación:

1ra estructura

- **Espesor de la 1era estructura**

80. Su espesor promedio es variable.



Handwritten signatures in blue ink.

- **Valores de resistividad**

81. De 4,9 a 30 Ω .m, que de acuerdo a estos valores correspondería a materiales arena arcillosos, provenientes de la formación Moquegua.

2da estructura

- **Espesor de la 2da estructura**

82. Su espesor promedio es variable hasta de 400 metros.

- **Valores de resistividad**

83. De 1,2 a 4,9 Ohm.m, que de acuerdo a estos valores correspondería a materiales con presencia de elementos lixiviados los cuales están representados por sus valores bajos de resistividad (color gris), (ver Figura 4-8).

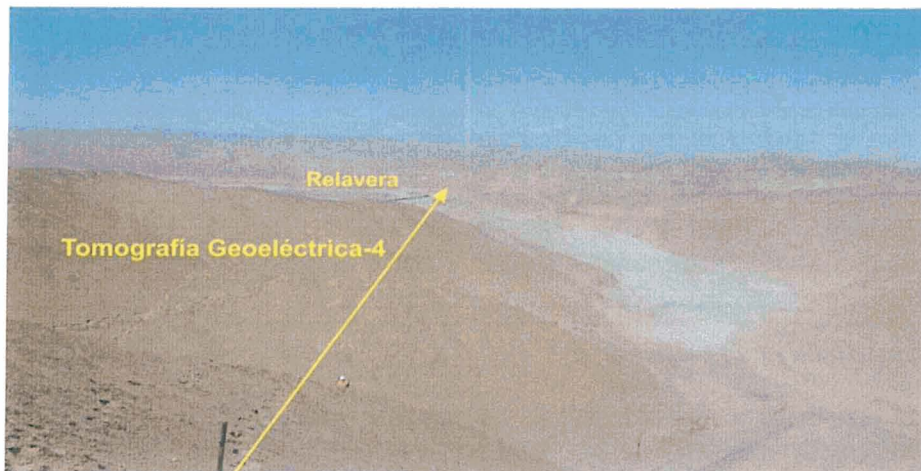


Figura 4-7. Línea de tomografía geoelectrica-4

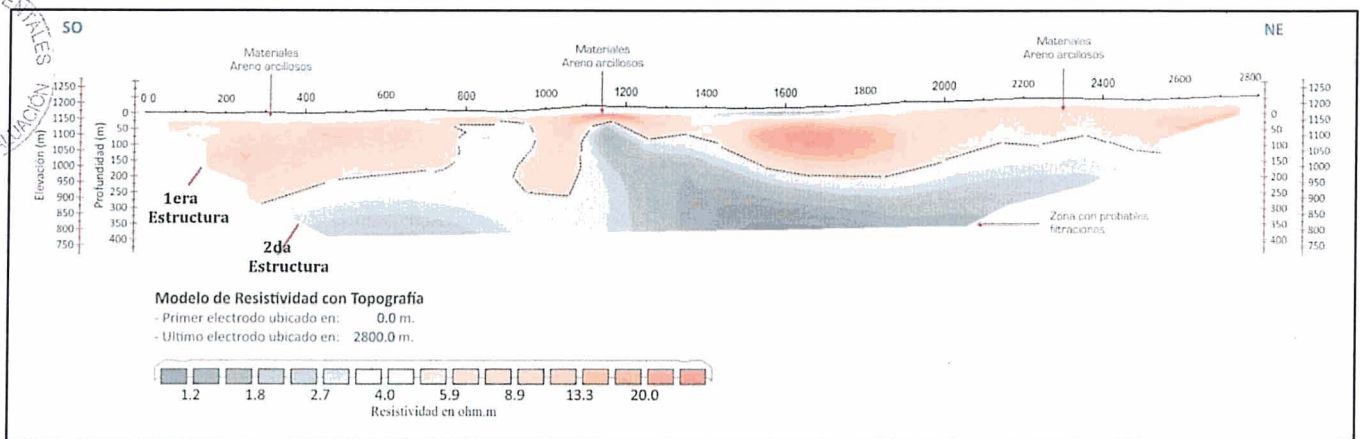


Figura 4-8. Perfil geoelectrico-4

5.0. CONCLUSIONES

- (i) Los resultados de las tomografías han determinado la presencia de filtraciones en la zona de estudio, las cuales se habrían generado durante todo el tiempo de vida del depósito de relaves, con la consiguiente saturación del subsuelo. Los valores de resistividad medidos estuvieron por debajo de los 10 $\Omega.m$, los cuales descartarían la posibilidad de tratarse de agua natural de un acuífero aluvial (agua subterránea); a menos que estas aguas hayan sido afectadas directamente por incorporación de sales.
- (ii) Los valores obtenidos de resistividad estarían en el rango correspondiente a arenas y gravas con agua salada (0,5-5,0 $\Omega.m$) o con arcillas (2-20 $\Omega.m$), tal como se observa en el rango de valores de resistividad de la Tabla 2-1. Esto podría relacionarse a algunas estructuras de la formación Moquegua, conformadas por una serie de materiales sedimentarios poco consolidados, que a su vez, podrían estar influenciados por alguna incorporación salina o lixiviados proveniente del depósito de relaves.
- (iii) Las elevaciones montañosas de la pared del depósito de relaves presentan materiales conformados por materiales areno arcillosos, los cuales en su parte inferior habrían sido influenciados por la presencia del depósito de relaves.
- (iv) Tanto el talud y el pie del depósito de relaves, están siendo constantemente acumulados por desbordes de los materiales del depósito de relaves, lo cual también genera una contaminación directa en la superficie; así mismo discurre relaves por la quebrada. A continuación se describen las conclusiones específicas de las cuatro tomografías geoelectricas ejecutadas en el contorno del depósito de relaves Quebrada Honda.

Tomografía geoelectrica-1

(v) Los resultados muestran una sola estructura y solamente está diferenciado por el mayor contenido de agua o lixiviados provenientes de las filtraciones del depósito de relaves. Este perfil muestra una zona con valores de resistividad de 0,11 a 6,5 $\Omega.m$, el cual estaría influenciado por la presencia de filtraciones con contenido de probables lixiviados (ver Figura 4-2).

Tomografía geoelectrica-2

(vi) Los resultados muestran dos estructuras, cuyas características se mencionan a continuación:

- La primera estructura muestra una zona con valores de 176 a 2 689 $\Omega.m$, el cual representa a materiales consolidados. Tiene un espesor promedio de 70 metros.
- La segunda estructura muestra una zona con valores de 0,84 a 176 $\Omega.m$, con presencia de filtraciones o lixiviados, probablemente provenientes del depósito de relaves. Esta zona se presenta en toda la extensión del perfil, subyaciendo a la primera estructura. Tiene un espesor promedio de 250 metros.

- (vii) En este perfil se presentan zonas con valores muy bajos de resistividad que representarían a elementos lixiviados provenientes del depósito de relaves (esta zona se representa de color gris oscuro en la Figura 4-4).



Tomografía geoelectrica-3

- (viii) Los resultados de esta tomografía, muestran dos estructuras que se describen a continuación:
- La primera estructura muestra una zona con valores de 64,3 a 860 Ohm.m, representan a materiales consolidados el cual se presenta en toda la superficie del perfil. Tiene un espesor promedio de 70 metros.
 - La segunda estructura muestra una zona con valores de 0,84 a 64.3 Ohm.m, presenta humedad o filtraciones de lixiviados, probablemente provenientes del depósito de relaves. Esta zona se presenta en toda la extensión del perfil, subyaciendo a la primera estructura. Tiene un espesor promedio de 250 metros, el cual continúa en profundidad.
- (ix) En este perfil se presentan zonas con valores muy bajos de resistividad (margen izquierdo en profundidad), que representarían a elementos lixiviados provenientes del depósito de relaves (esta zona se representa de color gris oscuro en la Figura 4-6).

Tomografía geoelectrica-4

- (x) Los resultados muestran una sola estructura, diferenciada solamente por la presencia de filtraciones provenientes del depósito de relaves y cuyos materiales corresponden a la formación Moquegua, y con fines de su explicación se los ha dividido en dos estructuras cuyas características se describen a continuación:
- La primera estructura muestra valores de resistividad de 5,9 a 27 Ohm.m, correspondería a materiales areno arcillosos, provenientes de la formación Moquegua con un espesor promedio variable.
 - La segunda estructura muestra valores de 1,2 a 5,9 Ohm.m, correspondería a materiales con presencia de lixiviados con un espesor promedio variable.

6.0. RECOMENDACIONES

- (xi) Se recomienda ejecutar una tomografía geoelectrica adicional a lo largo de la cabecera del depósito de relaves, para determinar sus condiciones de estabilidad.
- (xii) Se recomienda realizar estudios complementarios especializados (como perforación de taladros y estudios hidrogeológicos) para dar conclusiones más certeras sobre los datos obtenidos de la tomografía geoelectrica del presente informe.
- (xiii) Remitir el presente Informe a la Dirección de Supervisión del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.



7.0. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, M. (2002). La prospección geoelectrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología. *Revista Geológica de América Central*, 27, 21-26.

Busque, A., Casas, A., Pinto, V., Rivero, I., Sdabadía, J.B. (1996). Geofísica ambiental: técnicas no destructivas para el reconocimiento de zonas contaminadas por vertidos. *Acta Geológica hispánica*, v.30 (1995), nº 1-3, p. 73-82 (Pub.1996).

Geuna S.E. (2013). "Prospección-Exploración" Módulo 2: Carrera de Especialización en Geología Minera – Materia "Prospección geofísica terrestre" – UBA

Custodio, E. / Llamas M. R. (2001). Hidrología Subterránea. Segunda Edición. Capítulo 14.1, 1393-1407.

Geotomo Software Malaysia (2011). Geoelectrical Imaging 2d & 3d. Malaysia: Autor.

López, J., Rey, J., Sandoval, S. & Rodríguez, M. (2007). La tomografía eléctrica: una herramienta para la detección de huecos mineros (concesión de Arrayanes, Linares-Jaén). *Geogaceta*, 42, 43-46.

López, A.A., Loke, M.H., Fanon, G.O., Rubí, E.C. (1999). Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (tomografía eléctrica 2D y 3D). Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi, Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan and School of Physics. University of Science of Malaysia. Penang, Malaysia.

Loke, M.H. (2004). Bidimensional and Tridimensional Electrical Imaging Surveys. Editado por el propio autor.

Ministerio de Educación y Ciencia, España (2006). Informe final del proyecto Tomografía Geoelectrica: Desarrollo para la Caracterización de Acuíferos.



[Handwritten signatures]



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"
"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"

Anexo A: Cuatro perfiles de tomografía geoelectrica



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

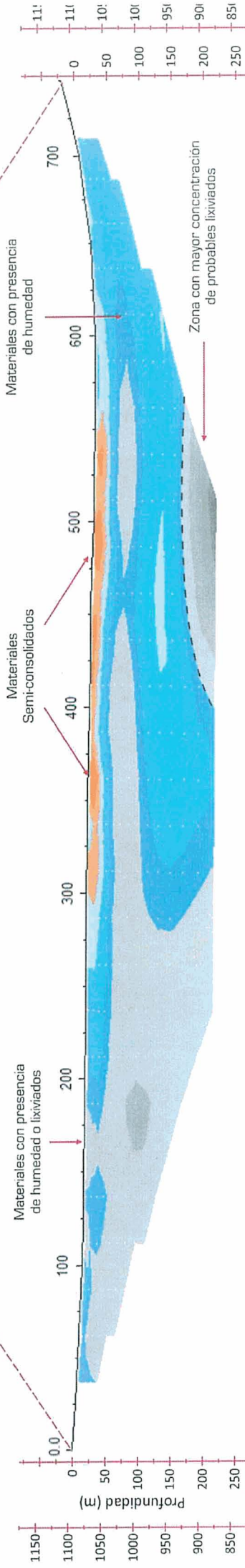
UBICACIÓN E INTERPRETACIÓN: Tomografía Geoeléctrica - 1



[Handwritten signatures]

NO

SE

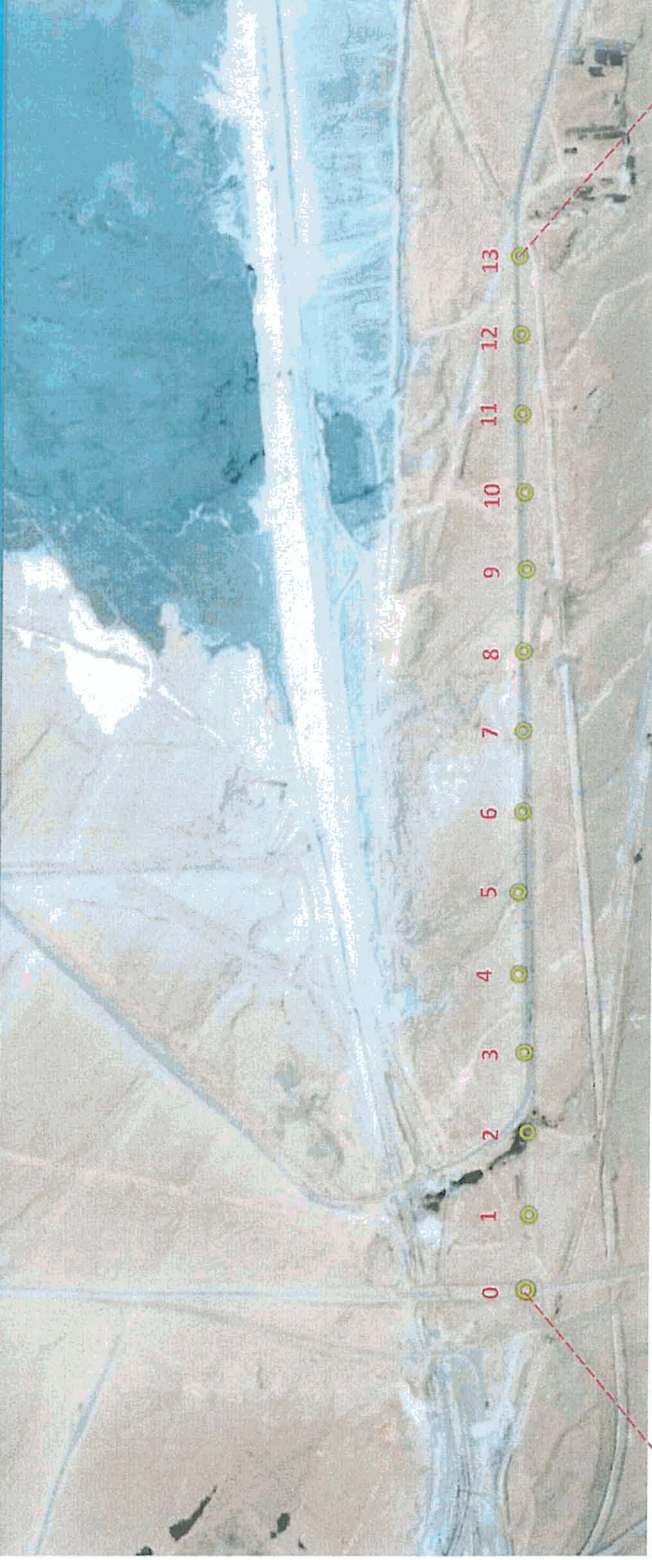


Modelo de Resistividad con Topografía

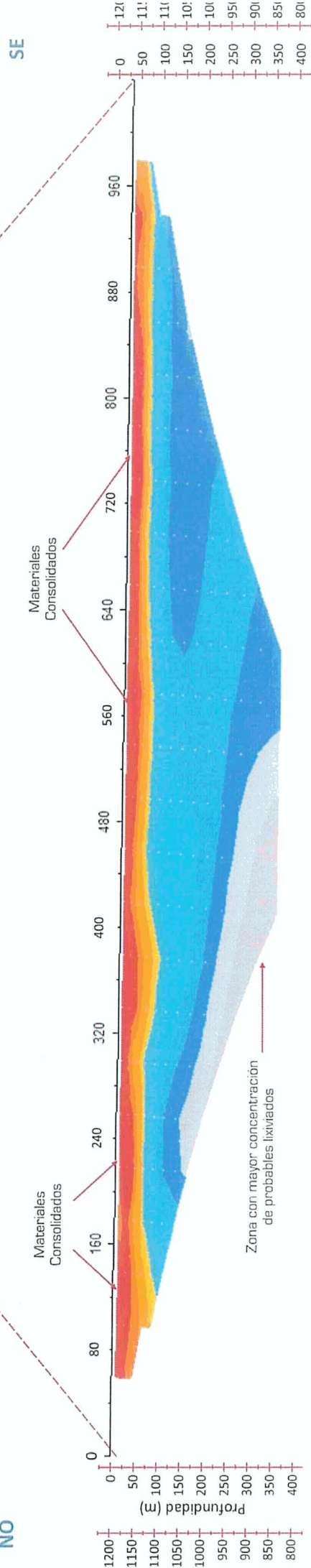
- Primer electrodo ubicado en: 0.0 m.
- Último electrodo ubicado en: 750.0 m.



UBICACIÓN E INTERPRETACIÓN: Tomografía Geoelectrica - 3



NO



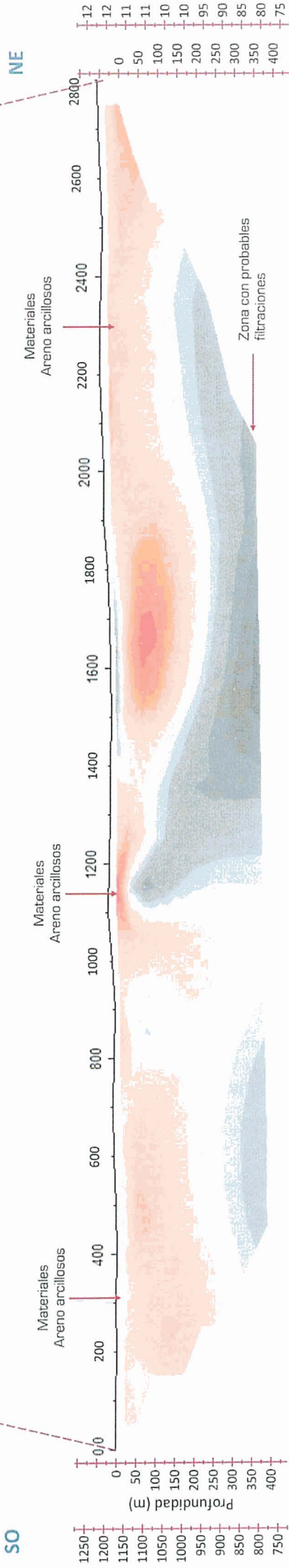
Modelo de Resistividad con Topografía

- Primer electrodo ubicado en: 0.0 m.
- Último electrodo ubicado en: 1040.0 m.

UBICACIÓN E INTERPRETACIÓN: Tomografía Geoeléctrica - 4



[Handwritten signature]
 SO



Modelo de Resistividad con Topografía

- Primer electrodo ubicado en: 0.0 m.
- Último electrodo ubicado en: 2800.0 m.

