

# Characterization of the Subsoil by Means of Electrical Tomography to Determine the Infiltration Level of leached Fluids from the Former Shudal Dump, Cajamarca 2022

Eduardo Malca<sup>1</sup>, Rosa Pérez<sup>1</sup>, Daniel Alva, Ing<sup>1</sup>, Ronald Mayta Ing<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [javi\\_12\\_edu@hotmail.com](mailto:javi_12_edu@hotmail.com), [rosa-esmeralda2000@hotmail.com](mailto:rosa-esmeralda2000@hotmail.com), [daniel.alva@upn.edu.pe](mailto:daniel.alva@upn.edu.pe), [ronald.mayta@upn.pe](mailto:ronald.mayta@upn.pe)

*Abstract-The purpose of this research is to carry out a geophysical study through the application and use of electrical tomography, which is capable of supplying and processing fundamental information in the characterization of the subsoil of the former Shudal Dump, Cajamarca, 2022; as well as determine the level of infiltration generated by leached fluids in the dump. That is why, the use of geophysical methods is shown to be dependent on the interpretation and research work, since within this study the integration and use of the largest possible amount of data obtained is given, where the variation of the abrupt conductivity and resistivity of the subsoil will be reflected in the sources of contamination by leached fluids, due to the fact that the physical properties of the fill materials during their activity present different geological formations. The main axis of the research is geophysical prospecting as a fundamental tool to find the distribution in subsoil resistivity factor. In this way, data was collected in the area longitudinally and transversally, with the data obtained the construction of the resistivity profiles was carried out and three areas with different resistivity's were identified, the first ranges from 10-80 Ohm, the second from 80-320 Ohm and the third from 320-4100 ohm. Each grouping of resistivity's by zone was cataloged as a different lithology interpreting them as clayey sands, sandstones and quartzite's respectively.*

**Key words:** *Electrical tomography, leached fluids, subsoil characterization.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Caracterización del Subsuelo Mediante Tomografía Eléctrica para Determinar el Nivel de Infiltración de Fluidos Lixiviados del Ex Botadero Shudal, Cajamarca 2022

Eduardo Malca<sup>1</sup>, Rosa Pérez<sup>1</sup>, Daniel Alva, Ing<sup>1</sup>, Ronald Mayta Ing<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [javi\\_12\\_edu@hotmail.com](mailto:javi_12_edu@hotmail.com),  
[rosa-esmeralda2000@gmail.com](mailto:rosa-esmeralda2000@gmail.com), [daniel.alva@upn.edu.pe](mailto:daniel.alva@upn.edu.pe), [ronald.mayta@upn.pe](mailto:ronald.mayta@upn.pe)

**Resumen**– La presente investigación tiene como finalidad realizar un estudio geofísico mediante la aplicación y uso de tomografía eléctrica, que sea capaz de suministrar y procesar información fundamental en la caracterización del subsuelo del ex Botadero Shudal, Cajamarca, 2022; así como determinar el nivel de infiltración generado por fluidos lixiviados en el botadero. Es por ello que, el uso de métodos geofísicos se muestra de forma dependiente de la interpretación y el trabajo de investigación, ya que dentro de este estudio se da la integración y el uso de la mayor cantidad de datos posibles obtenidos, donde la variación de la conductividad y resistividad abrupta del subsuelo se verá reflejada en los focos de contaminación por fluidos lixiviados, debido a que las propiedades físicas de los materiales de relleno durante su actividad presenta diferentes formaciones geológicas. La investigación tiene como eje principal la prospección geofísica como una herramienta fundamental para hallar la distribución en factor de resistividad del subsuelo. De esta forma se realizó la toma de datos en la zona de manera longitudinal y transversal, con la data obtenida se realizó la construcción de los perfiles de resistividad y se identificó tres zonas con diferentes resistividades, la primera va desde los 10-80 Ohm, la segunda desde los 80-320 Ohm y la tercera desde los 320-4100 ohm. Cada agrupamiento de resistividades por zona se catalogó como una litología diferente interpretándolas como arenas arcillosas, areniscas y cuarcitas respectivamente.

**Palabras clave:** Tomografía eléctrica, fluidos lixiviados, caracterización del subsuelo.

## I. INTRODUCCIÓN

El lixiviado, es considerado como el principal contaminante de verteros o botaderos a cielo abierto constituyendo un alto riesgo a las fuentes geológicas naturales, ya que por su alto grado de contaminación posee características muy agresivas; este líquido al no ser tratado apropiadamente y ser descargado al exterior logra contaminar de forma progresiva el subsuelo, por lo que la estimación de su producción y la variación en su composición llegan hacer datos valiosos para elaborar un plan adecuado de control, tratamiento y disposición final, minimizando así los impactos negativos generados a las capas del subsuelo. [1]

Y es que la existencia por un periodo extendido de años hace que los botaderos a cielo abierto constituyan un problema ambiental debido a la contaminación que este genera

representando peligros en la salud humana, flora y fauna por la cantidad de lixiviados y gases generados [2].

En este contexto, es importante evaluar los fluidos lixiviados generados en botaderos, puesto que estos contienen “altas cantidades de nitrógeno amoniacal, metales pesados y sales minerales contaminantes”; que, al infiltrarse por las capas del subsuelo u otro material sólido permeable, este va disolviéndolo en su totalidad dañando así el material rocoso [3].

Entendiendo así que, la calidad de los lixiviados varía en base al factor tiempo y al tipo del relleno sanitario que el botadero presente en cuestión. Es decir, que los lixiviados de las áreas de los rellenos sanitarios que han sido recientemente rellenadas producen fluidos lixiviados altamente contaminantes, denominándolos como lixiviado joven, a partir de ese momento es que las concentraciones de sustancias presentes en fluidos lixiviados dentro del botadero disminuyen continuamente con el paso del tiempo [4].

Con el paso de los años los métodos geofísicos se han vuelto indispensables en las diferentes áreas de la ingeniería, ya que brindan resultados aproximados y detallados del subsuelo. El método de tomografía eléctrica, se ha convertido en una herramienta fundamental, aportando información acerca de la distribución en factor de resistividad en el subsuelo [5]. El método geoelectrico propuesto para el desarrollo de este trabajo es altamente eficiente en la determinación de zonas con grandes contrastes de resistividad eléctrica y principalmente en medios de muy baja resistividad debida a la presencia de fluidos salinos [6].

La caracterización del subsuelo de un ex botadero puede llevarse a cabo mediante la utilización de distintos métodos geofísicos preliminares dentro y fuera del botadero [5]. Este estudio sirve para determinar la concentración de lixiviados; donde los métodos geofísicos se caracterizan por ser una aplicación limpia, es decir, métodos no destructivos, que usan la variación de la resistividad, todo esto a fin de poder detectar puntos y zonas que estén albergando y/o hayan albergado en su tiempo de actividad debido a la contaminación consecuyente de la infiltración de fluidos lixiviados [8].

Para determinar la concentración y el nivel de infiltración

generado por fluidos lixiviados en botaderos, es factible el uso de tomografía eléctrica a través de sus métodos considerándose necesarios para determinar el grado de concentración de capas subyacentes luego de un periodo de actividad, esto se logrará identificando el tipo de material geológico mediante la resistividad; que reflejará los focos contaminantes por los cuales han viajado los fluidos lixiviados durante su periodo de actividad.

La presente investigación pretende, mediante la aplicación de la tomografía eléctrica, ser capaz de suministrar y procesar información fundamental en la caracterización del subsuelo y determinar el nivel de infiltración de lixiviados, por lo que con este estudio se establece la unión entre las técnicas de sondeo eléctrico vertical y la calicata eléctrica, ya que esta obtiene mediciones tanto verticales como horizontales a lo largo de la zona de estudio, para generar así la distribución real del subsuelo con la ubicación espacial de las infiltraciones del sitio, para lograr la cuantificación de los fluidos lixiviados que ahí yacen a lo largo del tiempo. Asimismo, brindará información relevante que permitirá a estudiantes y profesionales interesados en la caracterización del subsuelo a obtener información actualizada en la geofísica, y que esta sirva como base para futuras investigaciones relacionadas al tema mencionado, además de que será una fuente de información a los pobladores de los lugares cercanos.

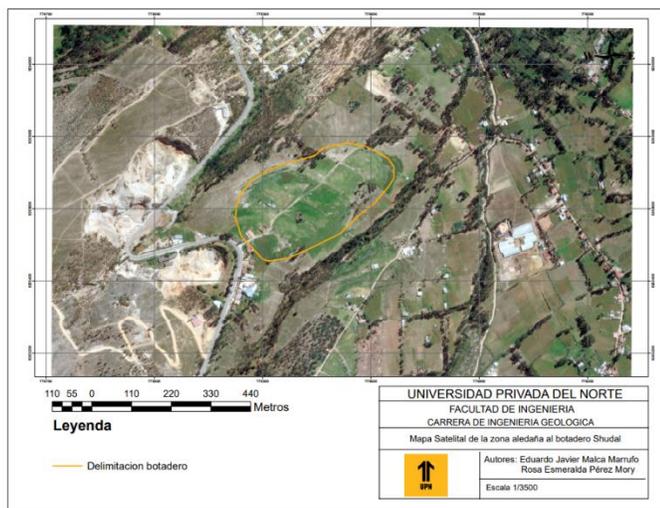


Figura 1. Mapa satelital y de ubicación de la zona de estudio

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Trabajo de gabinete pre-campo

Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva de artículos de investigación y de carácter científico para poder tener información relacionada al uso de la geofísica para la identificación de zonas afectadas por lixiviados infiltrados en el

subsuelo. Además, se elaboraron diversos mapas satelitales, topográficos, geológicos y de ubicación de la zona de estudio. También se hicieron dos fichas de recolección de datos, una para la identificación de unidades litológicas y la otra como base de estudio e interpretación geofísica.

### B. Trabajo de campo

Esta etapa es la más importante del estudio, pues se anotarán todos los datos necesarios para la ubicación y delimitación de la zona de estudio, la cual está representada por coordenadas geográficas UTM. Por consiguiente, se realizó un cartografiado geológico de la zona de estudio en la escala de 1/25000 con la finalidad de incluir mayor detalle en como la litología, las estructuras primarias o secundarias, e identificar las formaciones presentes del entorno al ex botadero Shudal.

Posteriormente se dio la instalación de los equipos geofísicos, este proceso permite ubicar el equipo resistivímetro, según el número de tendidos previamente planificado para la toma de datos, como primera parte se verifico la conexión del cableado de potencial y de corriente. Luego se procedió a tender las líneas del cable de potencial y de corriente a lo largo de la línea de tomografía, presentando una longitud de 235 m, asimismo se procede a la instalación de electrodos a una distancia de 5 metros de separación cada uno, continuando como guía la línea de cable, logrando incrustar los electrodos en el suelo con ayuda de una comba conectándolos al cable de potencial y corriente mediante cocodrilos, frotándolos para generar mayor eficacia en la conductividad eléctrica. Asimismo, instalamos el cable infinito de manera perpendicular al cable de potencial y corriente, este conectado a 2 electrodos en el punto final del cable infinito alcanzando una distancia de 120 m de longitud.

Finalmente, cuando todos los electrodos se encontraron correctamente posicionados en conjunto al cable de potencial y el cable infinito, se realizó la verificación del equipo de resistivímetro, donde se tomaron los datos de resistividad indicando repeticiones o cambio de fuentes de energía, o posición del equipo según sea conveniente para disminuir el error y los resultados de la tomografía sean más precisos. En cuanto al número de tendidos previamente planificados en la zona de estudio fueron dos, una de manera longitudinal y otro transversal, por lo que se repitió el mismo procedimiento en el segundo levantamiento geofísico, cabe recalcar que se tomaron puntos GPS al inicio, medio y final.

### C. Trabajo de gabinete post-campo

A partir de la información obtenida mediante los datos del levantamiento de tomografías eléctricas, se realizaron los perfiles de resistividades correspondientes, así como los

perfiles de interpretación litológica en el software ArcGis 10.8, tomando en cuenta la información litológica obtenida previamente del Geocatmin, además de esto se obtuvo un mapa donde se plasman los dos tendidos eléctricos de tomografías en una imagen satelital con curvas de nivel.

Definida la base de datos, se inicia a procesar y generar pseudo secciones de resistividad aparente en Ohm, en 2D para la tomografía, seguidamente se define y califica los datos de la intensidad de corriente y voltaje (I y V en miliamperios y voltios respectivamente), durante este proceso se agrega para cada punto de medida la corrección topográfica con la necesidad de generar una tabla de datos y hacer uso del software de procesamiento de imágenes Oasis Montaj 6.4. Posteriormente, se obtiene la sección de resistividad verdadera, empleando un software de inversión RES2D, de datos geoelectricos, y se culmina realizando la interpretación del perfil de resistividades para analizar la infiltración de fluidos lixiviados y caracterizar el subsuelo del ex botadero Shudal.

## II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. GEOLOGÍA

En el contexto estructural, se observa una zona de fracturamiento, fallas y anticlinal que toman la dirección principal NW – SE, la zona interandina presenta condiciones óptimas para localizar rocas de tipo sedimentarias y de depósitos cuaternarios que han sido acumulados desde el Cretáceo inferior hasta la actualidad. Cabe resaltar que el ex Botadero Shudal ha sido depositado sobre la Formación Chimú.

La geología local está caracterizada principalmente por la Formación Chimú esta unidad litoestratigráfica se conforma por contener estratos de areniscas cuarzosas que se intercalan con limolitas grises y lutitas pardo amarillentas dicha formación tiene estratos que buzanan en dirección NE, se encuentran muy fracturadas, y presentan una meteorización moderada a alta, también están presentes la Formación. Santa conformada principalmente por areniscas grises de grano medio posteriormente cubiertas por depósitos coluviales de espesor variado. Junto a estas, la Formación Carhuaz también se halla presente y está constituida por estratos de lutitas ferruginosas que se intercalan con areniscas muy fracturadas y altamente meteorizadas, su buzamiento se orienta hacia el NW.

La Formación Farrat suprayace a la Formación Carhuaz y contiene areniscas blancas de grano medio a grueso y cuarcitas, en algunos sectores, esta formación presenta estratificación; cada una de estas formaciones pertenece al Grupo Goyllarisquiza. Como última formación presente en la geología local de la zona de estudio tenemos al Formación Yumagual, esta unidad litoestratigráfica presenta una secuencia de calizas grises en bancos más o menos uniformes, también presenta una parte intermedia de lutitas margosas amarillentas.

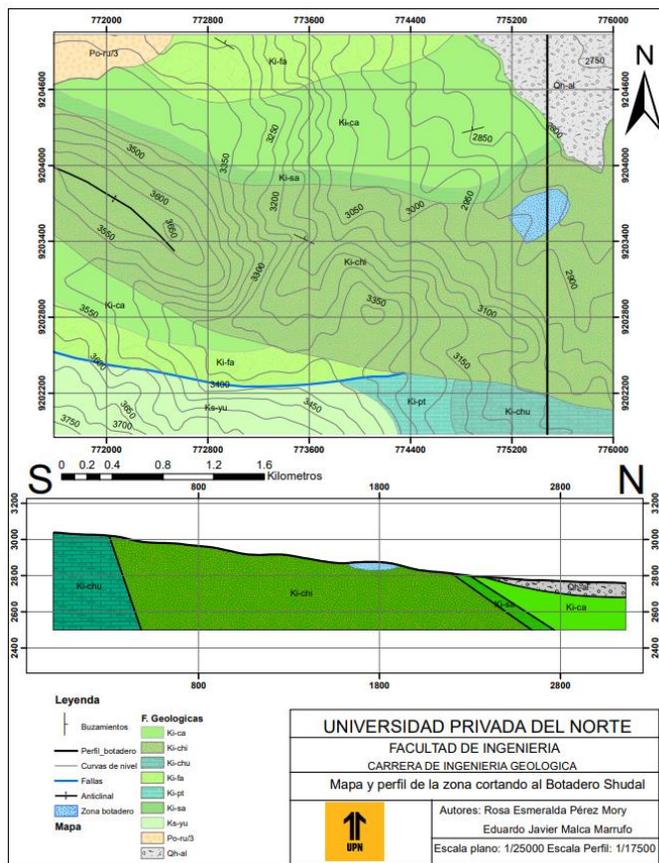


Figura 2. Geología de la zona

### B. MATERIAL IMPACTADO

En función a la caracterización de material rocoso impactado en el subsuelo del ex botadero Shudal, se ha considerado realizar un análisis de datos para la estimación de residuos y características generales que presento la zona, donde señala que en el tiempo de actividad estimada del ex botadero Shudal este presento un alto riesgo, en tal sentido se procedió a su clausura inmediata. Por lo que, en las tablas 1 y 2 de estimación de residuos y características generales presentes en el ex botadero resultan ser indicadores de la existencia de fluidos lixiviados en el subsuelo.

Tabla 1.

Estimación de residuos depositados en la zona

CANTIDAD DE RESIDUOS DEPOSITADOS Y EL AREA QUE OCUPA	
CALIDAD	Botadero grande
SUPERFICIE QUE ABARCA	5.0 - 9.9 Has.
CANTIDAD APROXIMADA DE RESIDUOS ACUMULADOS	Hasta 60,000 Tn

TIEMPO DE ACTIVIDAD DEL BOTADERO	Más de 10 años
CERCANIA A LOS POBLADOS Y VIVIENDA	Colindante a viviendas periféricas

Tabla 2.

*Categorización y estimación del material geológico de la zona*

POR LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

PRECIPITACIÓN PLUVIAL TOTAL, ANUAL	Moderada 500 / 1 500 mm
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL	Moderada entre 12 - 18 °C
CONDICIONES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS	Estable y existe curso de agua subterránea a una profundidad mayor a 10 m

C. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Las líneas donde se realizaron los ensayos fueron tal y como se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.

*Coordenadas UTM Tomografía Eléctrica*

LINEAS SISMICAS	COORDENADAS UTM			
	PUNTO INICIAL		PUNTO FINAL	
	Este	Norte	Este	Norte
LTE-01	775363.5	9203598.03	775540.74	9203751.74
LTE-02	775374.56	9203717.81	775576.88	9203598.22

Para la plasmar la distribución de las líneas tomografías se realizó un mapa topográfico satelital con las coordenadas tomadas en la recolección de datos.



Figura 3. Plano topográfico y líneas referenciales a las tomografías de la zona

De acuerdo a los datos de resistividad registrados en la LTE - 01 correspondiente a la línea de tomografía eléctrica longitudinal del ex botadero Shudal, se contempla en el perfil con dirección NE - SW tres zonas diferenciadas en base a la tabla de resistividad. Lo que refleja el área de color azul se cataloga como una zona saturada con la presencia de alguna solución conductiva, probablemente aquí el agua de lluvia infiltrada y almacenada en este material, posteriormente se observa un área con tonalidad amarilla indicando resistividad media, indicando que se trata de roca húmeda dada la resistividad presente, como último punto la zona de resistividad alta pertenece a la tonalidad roja, lo que señala ser roca seca compacta.

La zona con saturación aparentemente logra a alcanzar una profundidad de hasta los 20 metros, sin embargo, cuando logra alcanzar casi a los 80 metros de profundidad se puede apreciar una pequeña área de resistividad baja, por lo que esto indicaría otra zona con presencia de saturación de fluidos. Dado estos resultados se puede afirmar que en nuestro estudio pudimos constatar que las zonas más resistivas en los perfiles geoelectricos corresponden a zonas de roca compacta seca y según [9], esto es cierto ya que las zonas de afloramientos rocosos en su investigación también representaban altos valores de resistividad.

Tabla 4.

*Límite 01 - Línea longitudinal 235 (m)*

CAPA	RESISTIVIDAD $\rho$ ( $\Omega.m$ )	DESCRIPCIÓN
1	10 - 80	Zona de resistividad baja, saturada con presencia de alguna solución conductiva.
2	80 - 320	Zona resistividad media, suelo húmedo.
3	320 - 4100	Zona resistividad alta, suelo gravoso.

**Perfil de resistividades de la línea de tomografía eléctrica \_ LTE - 01**

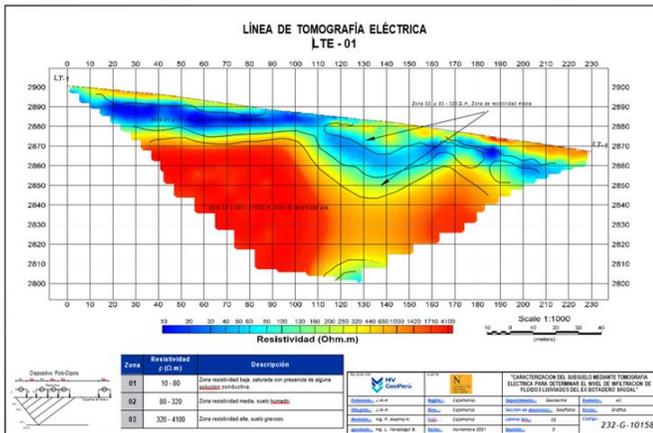


Figura 4. Perfil de resistividades LTE - 01

En los datos de resistividad registrados en la LTE - 02 que corresponde a la tomografía transversal del ex botadero, se observa en el perfil con dirección NW – SE; también se aprecian los tres tipos de zonas de resistividad como en la tomografía longitudinal. Observando desde este punto de vista se puede decir que la zona saturada si se ubica en primera instancia desde la superficie hasta los 20 metros de profundidad, pero en este caso el perfil transversal se logra apreciar claramente la zona de resistividad baja que se encuentra hasta casi los 80 metros de profundidad; corroborando así la existencia y caracterización de material del subsuelo con presencia de solución conductiva que supera la profundidad de los datos registrados en las tomografías eléctricas. Asimismo, se puede afirmar dentro de un estudio realizado mediante una tomografía eléctrica se consideran valores anómalos las zonas de resistividad baja, como en el caso de nuestro trabajo se podría considerar la zona anómala las resistividades menores a 100 Ohm.m.

[10] En su trabajo confirma esto ya que para él las zonas con resistividades muy bajas o muy altas se consideran anomalías y se deben tomar en cuenta al momento de la interpretación geológica. Sin embargo [11]. en su estudio encontró que la zona de lixiviados presentes en un botadero municipal obedecen a resistividades de entre 5 a 30 Ohm.m.; de acuerdo a este antecedente se contrasta que las zonas donde ocurre la infiltración de fluidos lixiviados presentan resistividades bastante bajas en Ohm.m.

Tabla 5.

**Límite 02 - Línea transversal 235 (m)**

CAPA	RESISTIVIDAD $\rho$ ( $\Omega$ .m)	DESCRIPCIÓN
1	10 - 80	Zona de resistividad baja, saturada con presencia de alguna solución conductiva.
2	80 - 320	Zona resistividad media, suelo húmedo.
3	320 - 4100	Zona resistividad alta, suelo gravoso.

**Perfil de resistividades de la línea de tomografía eléctrica \_ LTE - 01**

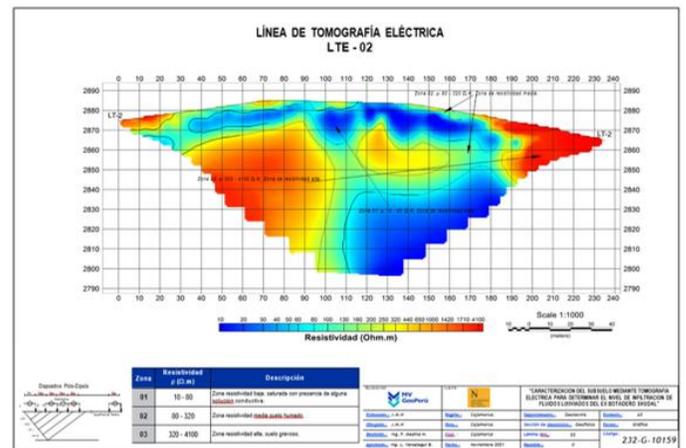


Figura 5. Perfil de resistividades LTE - 02

**D. CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO**

Se tomaron como referencia las resistividades de cada tomografía eléctrica para la interpretación del material geológico y la caracterización del mismo presente en la zona del ex botadero Shudal; la zona que comprendía las resistividades entre 10 -80 Ohm.m se catalogó como un material de arenas arcillosas pertenecientes a la depositación del material cuaternario, las resistividades de entre 80 - 400 Ohm.m se clasificaron como areniscas pertenecientes a la Formación Chimú, y la zona de resistividad entre 400 - 4 100 Ohm.m se caracterizó a este material como cuarcitas pertenecientes de igual manera a la Formación Chimú.

[12] Encontró en su estudio geofísico de tomografía eléctrica, que las principales plumas contaminantes por fluidos lixiviados se encuentran en zonas con presencia de arenas y arcillas, esto corrobora nuestra investigación ya que en nuestro caso también se infiere que las zonas de mayor contaminación presentan arenas arcillosas.

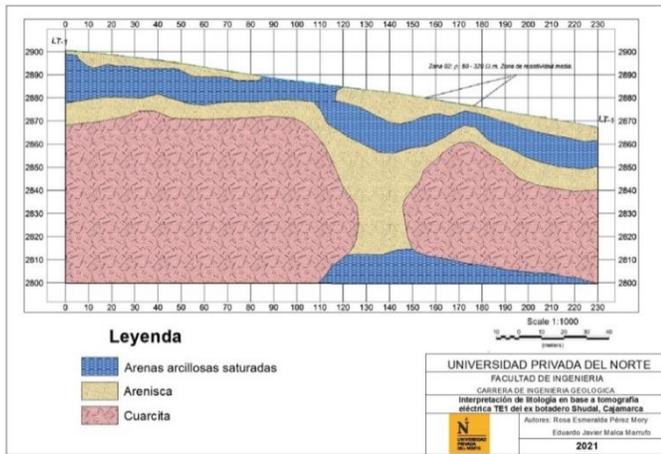


Figura 6. Interpretación litológica LTE - 01

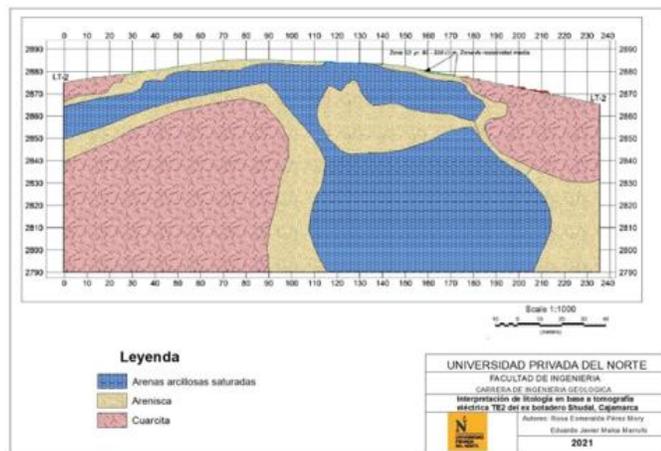


Figura 7. Interpretación litológica LTE - 02

De acuerdo al objetivo propuesto, se logró concretar que hay zonas en donde la resistividad presente es baja, logrando abarcar desde la superficie del ex botadero hasta 20 metros de profundidad aproximadamente.

Para la primera línea de tomografía eléctrica correspondiente a la línea longitudinal se logra estimar cualitativamente que, donde empieza la infiltración de fluidos lixiviados es prácticamente el punto medio de la línea de tomografía eléctrica correspondiente, convirtiéndose así en la zona donde se estuvo acumulando la mayor parte de residuos sólidos cuando el botadero aún se encontraba en funcionamiento y/o actividad, todo esto se corroboró y caracterizó en la tomografía eléctrica realizada.

En tal sentido se contrastó que en la tomografía número dos correspondiente a la línea transversal, ciertamente en la zona se aprecia la infiltración de algún fluido hasta los 20 metros de profundidad aproximadamente. Pero, a la vez se observa y reconoce una infiltración más profunda ubicada entre los 50 a 80

metros de profundidad, debido a que en esta parte existe una zona de resistividad baja bastante grande.

Dadas las resistividades de los perfiles de tomografía eléctrica se interpreta que la zona donde se han acumulado los fluidos lixiviados representa las características de un material arenoso arcilloso saturados por el agua, que posiblemente se dé debido a las lluvias en la zona, la caracterización del subsuelo en zonas que presentan resistividad media se catalogaron como areniscas y las de resistividades altas se interpretan como cuarcitas. Se cree que las cuarcitas y arenisca pertenecen a la Formación Chimú, que es donde se encuentra emplazado el ex botadero; así la zona de arenas y arcillas saturadas podrían pertenecer a zonas de depositación de sedimentos de arenisca o depósitos de suelo cuaternario.

La interpretación total de la zona se define de la siguiente manera, los fluidos lixiviados en el tiempo de actividad del ex botadero Shudal, Cajamarca se infiltraron a partir de las arenas arcillosas presentes en la zona, ocupando los primeros 20 metros de profundidad lo que posteriormente con el paso del tiempo se fueron infiltrando a mayor profundidad a través de las zonas litológicas de areniscas más permeables en el subsuelo hasta llegar a una profundidad que supera los 80 metros identificados en los perfiles de tomografía eléctrica.

#### IV. CONCLUSIONES

Podemos concluir que la técnica “tomografía eléctrica” es válida para segregar cualitativamente diferentes áreas en función de su grado de contaminación. También nos permitirá relacionar los valores de resistividad eléctrica con valores cualitativos de humedad, salinidad, granulometría e incluso de contenido en metales, siempre que las diferencias de resistividad sean relativamente grandes. Para diferencias pequeñas, como las que se nos han presentado dentro de cada uno de los perfiles, se hace muy difícil averiguar a qué se deben los cambios. Sin embargo, estas medidas a una escala menor de lo habitual, resultan prácticas para delimitar mejor dónde hacer sondeos exploratorios.

Se realizó la tomografía eléctrica en donde se pudo obtener las resistividades del subsuelo obteniendo anomalías que presentan bajas resistividades en Ohm.m. A partir de los datos de resistividades plasmados en Ohm.m se realizó la caracterización del subsuelo tomando como referencia las tablas de resistividades para cada tipo de roca o material presente logrando identificar tres materiales diferentes los cuales son arenas arcillosas, areniscas y cuarcitas.

Se determinó que el nivel de infiltración de fluidos lixiviados va desde los 0 metros de profundidad hasta los 80 metros que se visualizan en las tomografías eléctricas, pero como la anomalía de la línea de tomografía eléctrica 02 solo permite visualizar hasta la mitad. se puede afirmar que en tal punto la infiltración puede haber superado fácilmente en los 100 metros de profundidad.

Así mismo se concluyó que el material aprovechado por los fluidos lixiviados para infiltrarse dentro del subsuelo corresponde a secuencias de arenas arcillosas.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte (UPN).

#### REFERENCIAS

- [1] Cheng, C., & Chu, L. (2018). Fate and distribution of nitrogen in soil and plants irrigated with landfill leachate. Hong Kong: ELSEVIER\_V.
- [2] Organización Panamericana de la Salud. (2004). Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos. *PLISA Plataforma de Información en Salud para las Américas*, 1-92.
- [3] Cheng, C., & Chu, L. (2018). Fate and distribution of nitrogen in soil and plants irrigated with landfill leachate. *Elsevier, Hong Kong*, 470.
- [4] Fazzito, S., Rapalini, A., Cortés, J., & Terrizano. (2011). Characterization of quaternary faults by electric resistivity tomography in the Andean Precordillera of Western Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 217-228.
- [5] Pomposiello, C. (2010). Evidencias de pluma de contaminación detectadas por estudios Geofísicos en Botadero Municipal en Argentina. Argentina: Latino-Americana de Hidrogeología Subterránea .
- [6] Giraldo, E. (2019). Tratamiento de Lixiviados de rellenos Sanitarios. *Revista de Ingeniería*, 45.
- [7] Pous, J., Sugrañes, L., & Badiella, P. (1990). Parámetros del estudio Geoeléctrico de la depresión de la Selva - Girona. *Acta Geologica Articles*, 44,81.
- [8] Bernal, I., & Rosado, F. (2019). *ESTUDIO DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD DE RECORD CCONCCACCA*. Apurímac, Perú: Ministerio de Energía y Mina.
- [9] Quispe, D. (2019). Aplicación del método de tomografía eléctrica 3D para la detección de flujos y posibles filtraciones en el PAD de lixiviación. Arequipa: Repositorio de la UNSA.
- [10] Valencia, C. (2017). *CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO 3D A TRAVÉS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN EL RELLENO SANITARIO . DE LA CIUDAD DE CHANCAY - LIMA*. : Repositorio de la UNSA.
- [11] Chabala, J., Zogala, B., & Dubeil, R. (2008). Geochemical and Geophysical Study of Historical Zn-Pb Ore Processing Waste Dump Areas. Southern Poland: ResearchGate.