

Caracterización Hidrogeológica Mediante Tomografías Geolétricas (TGE) Para la Identificación de Acuíferos en el Sector Ronquillo, Cajamarca - 2020.

Jackeline Alvarado, Bach.¹; Rafael Ocas, Mg.¹; Shonel Cáceres Mg.¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. casagope.eirl@gmail.com, Shonel.caceres@upn.edu.pe

The objective of this work was to determine the aquifer potential of the lithostratigraphic units in the Ronquillo Sector, Cajamarca, which presents water shortages. For this, the method of electrical tomography (TGE) was applied. The TGE was applied using the Dipole-Dipole configuration technique to determine the resistivity and to delimit the possible aquifers. 4 lines (L-1, L-2, L-3, L-4) were made, this information was analyzed in the Geosoft Oasis Montaj Software, managing to identify 4 geoelectric layers. The results of the interpretations show an Aquifer potential in layers 1 and 2 of lines 1 to 4, which are geologically correlated with volcanic rocks of the San Pablo Formation (Tobas), which present high saturation of the presence of water.

Key words: Aquifer, Geometric Electrical Tomography, Lithology.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.133>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Caracterización Hidrogeológica Mediante Tomografías Geolétricas (TGE) Para la Identificación de Acuíferos en el Sector Ronquillo, Cajamarca - 2020.

Jackeline Alvarado, Bach.¹; Rafael Ocas, Mg.¹; Shonel Cáceres Mg.¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. casagope.eirl@gmail.com, Shonel.caceres@upn.edu.pe

Resumen– El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial acuífero de las unidades litoestratigráficas en el Sector Ronquillo, Cajamarca, el cual presenta escasez de agua. Para ello se aplicó el método de tomografías eléctricas (TGE). El TGE se aplicó utilizando la técnica de configuración Dipolo-Dipolo para poder determinar la resistividad y poder delimitar los posibles acuíferos. Se realizó 4 líneas (L-1, L-2, L-3, L-4), esta información fue analizada en el Software Geosoft Oasis Montaj, logrando identificarse 4 capas geoelectricas. Los resultados de las interpretaciones muestran un potencial Acuífero en las capas 1 y 2 de las líneas 1 hasta 4 las cuales se correlacionan geológicamente con rocas volcánicas de la Formación San Pablo (Tobas), las cuales presenta saturación alta de presencia de agua.

Palabras clave: Acuífero, Tomografías Geolétricas, Litología.

The objective of this work was to determine the aquifer potential of the lithostratigraphic units in the Ronquillo Sector, Cajamarca, which presents water shortages. For this, the method of electrical tomography (TGE) was applied. The TGE was applied using the Dipole-Dipole configuration technique to determine the resistivity and to delimit the possible aquifers. 4 lines (L-1, L-2, L-3, L-4) were made, this information was analyzed in the Geosoft Oasis Montaj Software, managing to identify 4 geoelectric layers. The results of the interpretations show an Aquifer potential in layers 1 and 2 of lines 1 to 4, which are geologically correlated with volcanic rocks of the San Pablo Formation (Tobas), which present high saturation of the presence of water.

Key words: Aquifer, Geometric Electrical Tomography, Lithology.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el calentamiento climático está experimentando grandes cambios severos afectando directamente al estudio realizado de las reservas y el comportamiento de las masas hídricas [1].

Por otro lado, la sobreexplotación de los recursos hídricos debido a la presión demográfica, han puesto en la agenda mundial el estado crítico que ha alcanzado la humanidad en términos de disponibilidad y acceso al agua en cantidad y calidad suficientes [6].

En el Perú existen zonas con bastante necesidad de agua. En el año móvil mayo 2019- abril 2020, el 9,2% de la población

total del país, no accede a agua por red pública, es decir, se abastecen de agua de otras formas: camión-cisterna (1,2%), pozo (1,6%), río, acequia, manantial (3,5%) y otros (2,8%) [8]. El caso de la ciudad de Cajamarca no es ajeno a esta situación debido al mal uso y la mala distribución del preciado líquido, esto ha sido causa de la pérdida de sus fuentes naturales en las corrientes superficiales y subterráneas. Generando sequías en la agricultura y población (Calvetty, 2005, p.23) [2]. El agua subterránea es una fuente vital que proporciona suministros para las áreas urbanas y rurales; se usa en la economía agrícola y beneficia tanto a los peces como a los hábitats y ecosistemas [7].

Los métodos Geoelectricas se utilizan ampliamente en los estudios de las aguas subterráneas para investigar la presencia de acuíferos, definiendo la resistividad de las formaciones menos permeables que muestran baja resistividad y formaciones permeables [4]. Las medidas de tomografías Geoelectricas del subsuelo son habituales en las prospecciones geofísicas. Su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo [5]. La técnica de la tomografía Geoelectrica emplea los valores de resistividad aparente medidos, para generar imágenes del subsuelo donde se representan los valores de la resistividad verdadera de las diferentes zonas del subsuelo. Para determinar la resistividad verdadera del subsuelo a partir de los valores de la resistividad aparente, se aplica una técnica de inversión [3].

El sector el Ronquillo presenta escasez de suministro de agua, por ello muestra un gran interés como zona de investigación. Geológicamente el área de estudio; se encuentra ubicado en Formaciones del Cretáceo Inferior y Superior, caracterizado por afloramientos de areniscas, calizas y lutitas dispuesto estratigráficamente e intercalados; con potencial para albergar agua subterránea que no ha sido anteriormente estudiado. La aplicación del método de Tomografías Geoelectricas (TGE) sobre la geología de la zona muestran una primera aproximación de la presencia y potencialidad del acuífero en la zona de investigación.

En tal sentido el objetivo del estudio fue identificar la zona con potencial acuífero de las unidades litoestratigráficas en el sector Ronquillo aplicando el método de Tomografías Geoelectricas (TGE).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Cartografiado geológico

Para el desarrollo de la investigación se realizó el mapeo geológico e hidrogeológico, se pudo identificar las formaciones, estructuras y litología que existen en la zona de estudio y sus alrededores, utilizando como técnica principal la observación y análisis de los afloramientos rocosos y como instrumento de recolección de datos una ficha de campo.

B. Distribución de las líneas (TGE)

Específicamente se tomó la medición de las 4 líneas de Tomografías Geoeléctricas tomadas metro a metro, con una longitud variable limitada por zonas de condiciones favorables de la existencia de posibles acuíferos.

Las 4 líneas de TGE fueron ubicados con un GPS diferencial marca Tremble Modelo R8S versión máxima KIT con una precisión aproximadamente de 3 mm. Utilizando las coordenadas UTM en el sistema WGS84, los datos que fueron ingresados a la prospección geofísica y los datos que se muestra en la tabla.

TABLA 1. COORDENADAS UTM DE LAS 4 LÍNEAS TEG

NOMBRE DE LÍNEA	ESTACION INICIAL	ESTACION FINAL	DIRECCIÓN DE LA LÍNEA	COORDENADAS		ALTITUD	MÉTODO TGE
				INICIALES	FINALES		
L-1	0	39 m	N 80° E	9207488.25	9207511.17	3579 msnm	F
				767.330.655	767.309.766		
L-2	0	22 m	N 285° E	9207645.88	9207668.41	3532 msnm	F
				767.481.938	767.446.115		
L-3	0	19 m	N 260° W	9207903.43	9207917.4	3503 msnm	F
				767.475.461	767.446.346		
L-4	0	20 m	N 120° E	9207840.01	9207843.79	3496 msnm	F
				767.444.591	767.417.474		
LONGITUD TOTAL MEDIDO (m)							100 m

Nota: Coordenadas de las 4 TEG en coordenadas UTM

El equipo requerido para ejecutar nuestro trabajo consistió en los siguiente:

Electrodos: No son más que unas barras metálicas cuyo número variará en función del problema.

Cable: Es de gran longitud, con conexiones cada cierto intervalo a fin de poder conectar los electrodos.

Conectores: son unos pequeños cables de cobre con pinzas en los extremos. Son los que se encargan de conectar los electrodos al cable.

Ordenador portátil: En él tenemos el software que nos permite por un lado determinar las variables de trabajo: tipo de dispositivo electrónico, número de electrodos, espaciado entre ellos, número de medidas a realizar, etc., y por otro lado procesar y visualizar los resultados obtenidos.

Unidad central (resistímetro): Es el cerebro de todo el dispositivo. Se encarga de ejecutar de forma automática toda la secuencia de medidas predeterminada, verificar el buen estado de las conexiones, así como almacenar digitalmente todos los resultados de campo.

Una batería: Es la fuente de alimentación de todo el sistema.

Laptop: Para procesar los datos.

Software: Geosoft Oasis Montaj

El proceso de la toma de los datos se inicia con la instalación de la resistividad de un receptor Geotomógrafo ST 150 y accesorios Electrodo Impolarizables, cables, marca Gold fabricados en China, en lo cual se fijó un punto central, a partir de la ubicación del dispositivo se extendió en sentidos opuestos de los electrodos, en los cuales se extendieron a ciertas medidas comprendidas 1 metro de distancia que cubrió un total 100 metros lineales. Una vez instalado los electrones se aplicó el voltaje, se midió la resistividad de las líneas L1, L2, L3, L4, distribuidas en el área de estudio.

C. Procesamiento en softwares especializados

La información obtenida se procesó en los softwares Geosoft Oasis Montaj, Leapfrog, Geosoft, ArcGIS y AutoCAD, los cuales sirvieron para realizar los perfiles geoeléctricos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La zona de estudio está ubicada en el rector Ronquillo a 3 Km al Oeste del Centro de la ciudad de Cajamarca.

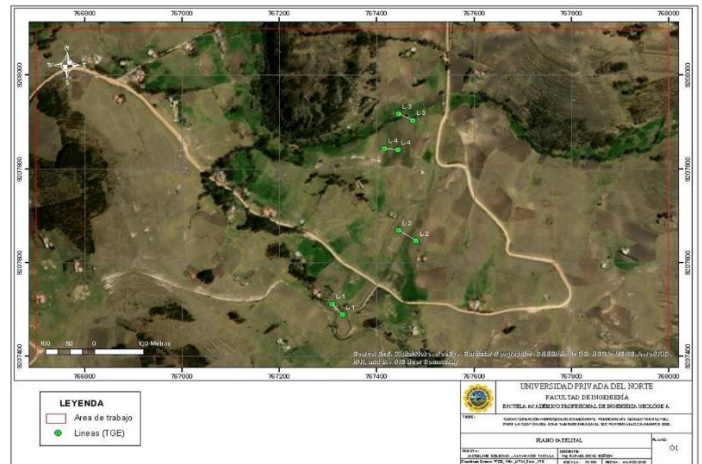


Fig. 1 Ubicación del sector El Ronquillo (Fuente: Elaboración propia).

Los resultados del estudio Geoeléctrico que se obtienen al relacionar la resistividad y longitud de cada electrodo indican las diferentes capas del subsuelo y nos dan una idea de la profundidad.

A. LINEA DE RESISTIVIDAD L-01

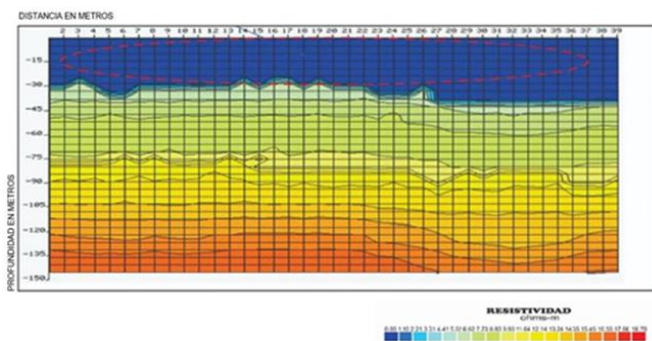
El perfil de resistividad de línea L-01 tiene una longitud de 39 m y una profundidad de 150 m, presenta 4 zonas de resistividad que será denominada como capas 1,2,3 y 4.

TABLA 2. RESULTADOS DE RESISTIVIDAD L-01.

Capa	Resistividad (Ωm)	Espesor (m)	Descripción
1	0.1 – 2.5	1.5 a 34	Material de muy baja resistividad. Suelo compuesto de material limo arcilloso saturado, presencia de grabas y algunos cantos rodados en menor porcentaje.
2	2-8	5 a 36	Material de baja resistividad. Suelo compuesto de arcillas arenosas ligeramente húmedas.
3	8 -13	30	Material de mediana resistividad, compuesto probablemente con margas.
4	13 - 202	> 34	Material alto en resistividad, compuesto de lutitas y calizas.

Fuente: Elaboración propia - valores de resistividad TGE y logueo geotécnico.

Resultados obtenidos con el proceso - Sección 1



Interpretación posible atribución geológica – Sección 1

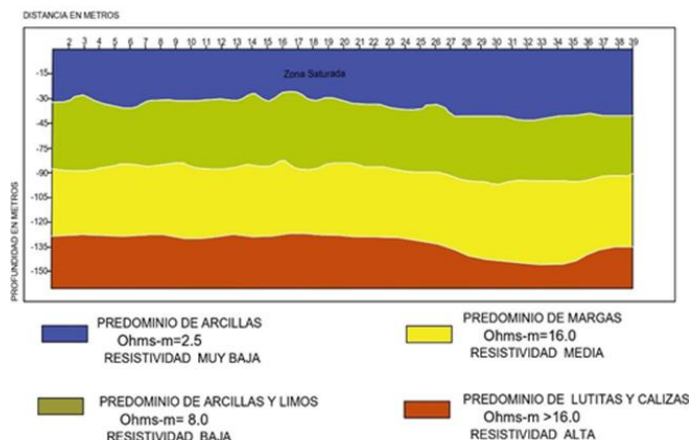


Figura 2. Sección de resistividad 2D interpolado y suavizado L-1, en el Software Geosoft Oasis Montaj (Fuente: Elaboración propia).

Sección 1, en las capas 1 y 2 presenta valores bajos de resistividad, las medidas de mayor agrupamiento de datos en forma lineal llegan hasta un máximo de 8 (Ωm) con ateriales comprendidos por arcillas, limos saturados y en menor porcentaje gravas con cantos rodados. Los valores mayores a 8 (Ωm) representan mayor resistividad y un cierto grado de curvatura por la presencia de rocas calcáreas, tales como margas, lutitas y calizas de poco fracturamiento. El valor de la resistividad se relaciona con el contenido de agua. Nótese que a medida que el contenido de agua se presenta la resistividad tiende a disminuir. (Ver Figura 2).

B. LINEA DE RESISTIVIDAD L-02

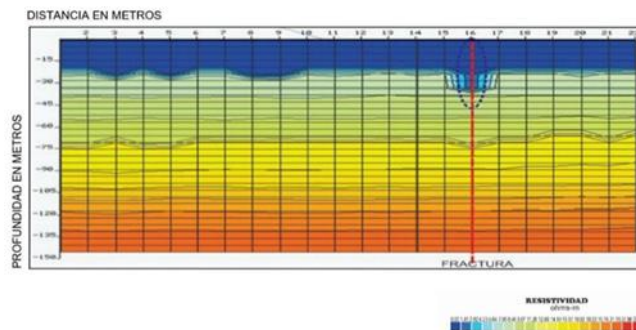
El perfil de resistividad de línea L-02 tiene una longitud de 22 m y una profundidad de 150 m, presenta 4 zonas de resistividad que será denominada como capas 1,2,3y 4.

TABLA 3. RESULTADOS DE RESISTIVIDAD L-02.

Capa	Resistividad (Ωm)	Espesor (m)	Descripción
1	0.1 – 1.8	2 a 40	Material de muy baja resistividad. Suelo compuesto de material limo arcilloso saturado, presencia de grabas y algunos cantos rodados en menor porcentaje.
2	4-8	45	Material de baja resistividad. Suelo compuesto de arcillas arenosas ligeramente húmedas.
3	8 -16	30 a 45	Material de mediana resistividad, compuesto probablemente con margas.
4	16 - 202	> 45	Material alto en resistividad, compuesto de lutitas y calizas.

Fuente: Elaboración propia - valores de resistividad TGE y logueo geotécnico.

Resultados obtenidos con el proceso - Sección 2



Interpretación posible atribución geológica – Sección 1

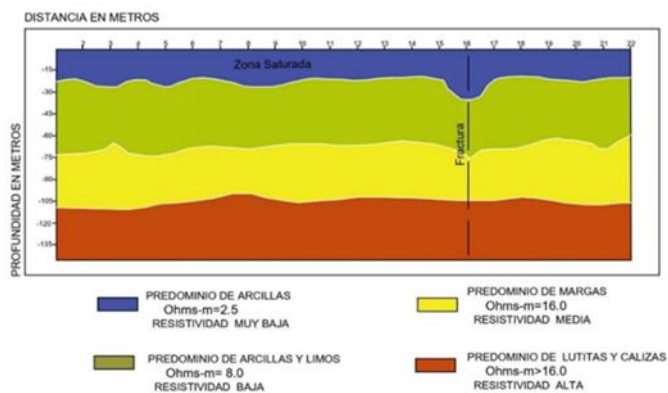


Figura 3. Interpretación de la línea L-2, de la sección de Tomografías Geoeléctrica en 2D (Fuente: Elaboración propia).

Sección 2, la capa 1 tiene una potencia que varía entre 2 y 45 metros, con valores de resistividad que llegan a 1.8 (Ωm) con material arcilloso y en menor porcentaje gravas con cantos rodados. La capa 2, con una potencia promedio de 45 metros presenta valores que llegan a 8 (Ωm) en material limo arcilloso. La capa 3 presenta valores de mediana resistividad con 16 (Ωm) compuesto por margas calcáreas con potencias entre 30 a 45 metros. La capa 4 presenta valores de alta resistividad que llegan hasta los 202 (Ωm) compuestas por lutitas y calizas de poco fracturamiento (Ver Figura 3).

C. LINEA DE RESISTIVIDAD L-03

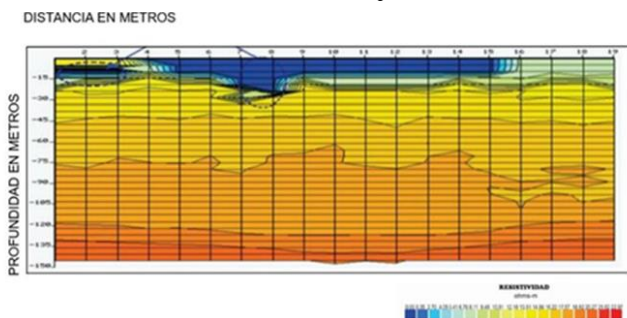
El perfil de resistividad de línea L-03 tiene una longitud de 19 m y una profundidad de 150 m, presenta 4 zonas de resistividad que será denominada como capas 1,2,3y 4.

TABLA 4. RESULTADOS DE RESISTIVIDAD L-03.

Capa	Resistividad (Ωm)	Espesor (m)	Descripción
1	0.1 – 3	5 a 25	Material de muy baja resistividad. Suelo compuesto de material limo arcilloso saturado, presencia de gravas y algunos cantos rodados en menor porcentaje.
2	4-7	1 a 25	Material de baja resistividad. Suelo compuesto de arcillas arenosas ligeramente húmedas.
3	8 -16	45	Material de mediana resistividad, compuesto probablemente con margas.
4	16 - 202	> 50	Material alto en resistividad, compuesto de lutitas y calizas.

Fuente: Elaboración propia - valores de resistividad TGE y logueo geotécnico.

Resultados obtenidos con el proceso - Sección 3



Interpretación posible atribución geológica – Sección 3

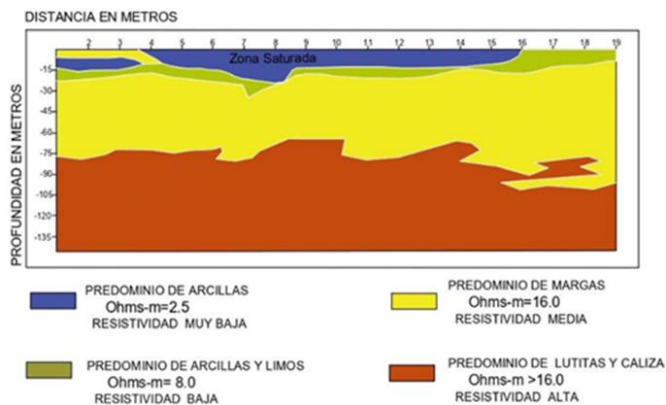


Figura 4. Interpretación de la línea L-2, de la sección de Tomografías Geoeléctrica en 2D (Fuente: Elaboración propia).

Sección 3, la capa 1 aparece con menor potencia con respecto a las otras secciones con un espesor que varía entre 5 y 25 metros, compuesta por material arcilloso y en menor proporción gravas y cantos rodados, con resistividad entre 0.1 y 3 (Ωm). La capa 2 tiene una potencia entre 1 y 25 metros está compuesta de limos y arcillas ligeramente húmedas con una resistividad entre 4 a 7 (Ωm). La capa 3 tiene un espesor promedio de 45 metros y está compuesta de margas secas, con resistividad entre 8 y 16 (Ωm). Finalmente, la capa 4 tiene un espesor mayor a 50 metros y está compuesta de lutitas y calizas, su resistividad es alta, estando entre 16 y 202 (Ωm). A medida que profundizamos los valores de la resistividad aumentan, al aumentar la resistividad el contenido de agua disminuye (Ver Figura 4).

D. LINEA DE RESISTIVIDAD L-04

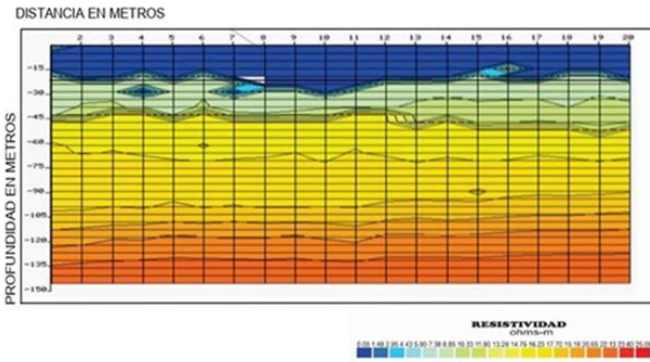
El perfil de resistividad de línea L-04 tiene una longitud de 20 m y una profundidad de 150 m, presenta 4 zonas de resistividad que será denominada como capas 1,2,3y 4.

Tabla 12. Resultados de resistividad L-04.

Capa	Resistividad (Ωm)	Espesor (m)	Descripción
1	0.1 – 2.5	1 a 25	Material de muy baja resistividad. Suelo compuesto de material limo arcilloso saturado, presencia de gravas y algunos cantos rodados en menor porcentaje.
2	4-8	5 a 25	Material de baja resistividad. Suelo compuesto de arcillas arenosas ligeramente húmedas.
3	8 -16	60	Material de mediana resistividad, compuesto probablemente con margas.
4	16 - 202	> 60	Material alto en resistividad, compuesto de lutitas y calizas.

Fuente: Elaboración propia - valores de resistividad TGE y logueo geotécnico.

Resultados obtenidos con el proceso - Sección 4



Interpretación posible atribución geológica – Sección 4

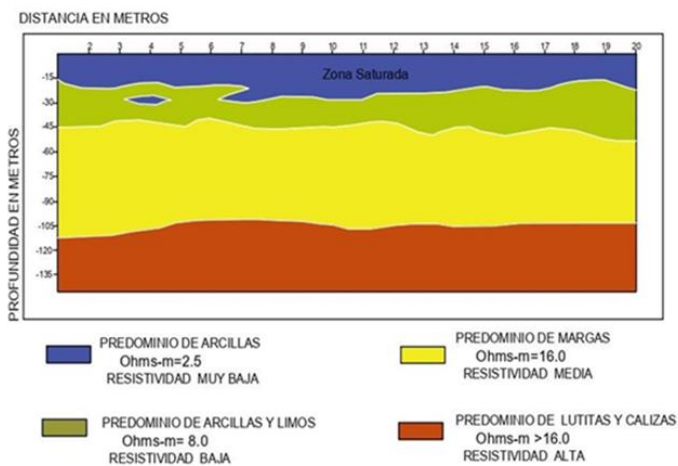


Figura 5. Interpretación de la línea L-4, de la sección de Tomografías Geoeléctrica en 2D (Fuente: Elaboración propia).

Sección 4, la capa 1 tiene un espesor entre 1 y 25 metros, compuesta por material arcilloso y en menor proporción gravas y cantos rodados, con resistividad entre 0.1 y 2.5 (Ωm). La capa 2 tiene una potencia entre 5 y 25 metros, está compuesta de limos y arcillas ligeramente húmedas con una resistividad entre 4 a 8 (Ωm). La capa 3 tiene un espesor promedio de 60 metros y está compuesta de margas secas, con resistividad entre 8 y 16 (Ωm). La capa 4 tiene un espesor mayor a 45 metros y está compuesta de lutitas y calizas y su resistividad es alta, estando entre 16 y 202 (Ωm). A medida que profundizamos los valores de la resistividad aumentan, al aumentar la resistividad el contenido de agua es menor. (Ver Figura 5).

La resistividad de la mayoría de las rocas y sedimentos secos es elevada, por lo que actúan como semiconductores, o conductores de baja capacidad. Este comportamiento cambia significativamente cuando las fisuras o los poros están ocupados por agua, lo que genera una disminución de la resistividad, o lo que es lo mismo en aumento en la capacidad de conducción de la corriente eléctrica. [9].

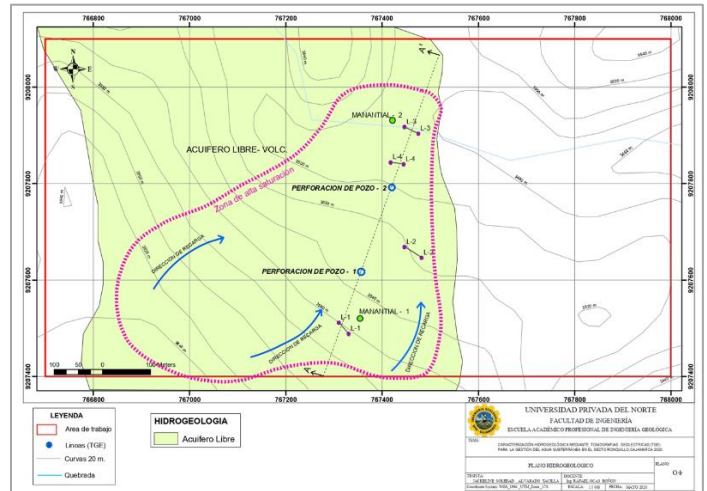


Figura 6. Plano hidrogeológico de la zona

La zona que se comporta con características acuíferas abarca un área aproximada de 60 Ha, nuestras líneas de resistividad se extienden en un corredor Nor-Este, ubicadas en puntos estratégicos elegidos de acuerdo a las evidencias en superficie, con un patrón direccional Nor-Oeste a Sur-Este. También en la imagen podemos observar la ubicación de los pozos propuestos para un futuro aprovechamiento del agua subterránea. La dirección del flujo es de Sur-Oeste a Nor-Este, la línea punteada en color magenta indica los límites de la zona de alta saturación. (Ver Figura 6).

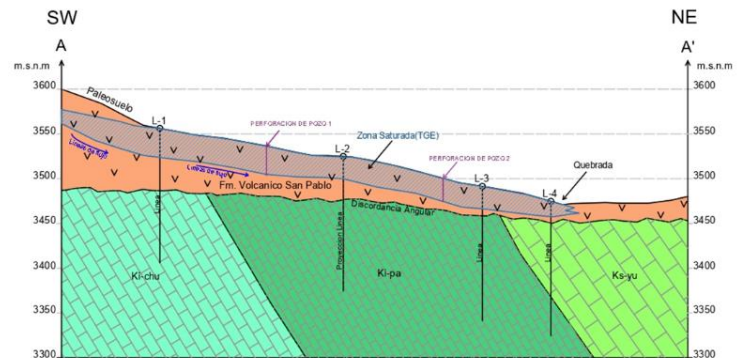


Figura 7. Interpretación de la Sección Geológica A - A'.

En el Sector Ronquillo se encuentran zonas con condiciones hidrogeológicas debido la presencia de dos puntos de acuíferos M-1, M-2, los cuales presentan una zona de recarga en la parte superior (M-1) y una zona de descarga (M-2). De acuerdo a estos indicios se realizó 4 líneas de Tomografías Geoeléctricas en la zona de estudio, para diferenciar los materiales del subsuelo por la resistividad (Ωm) que generan al aplicar el método Dipolo-Dipolo. La primera línea presenta 4 capas conformado desde arcillas, limos, margas, lutitas y calizas, en la capa de arcillas (tobas volcánicas) presentan una zona de saturación de agua con una resistividad 0,1- 2.5 (Ωm)

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

- [1] Gómez, R., (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de aguas, volumen III. Institución México.
- [2] Calvetty Amboni, B. 2005. Prospección Geoelectricas aplicada en hidrogeología. Maestría en Evaluación Ambiental de Sistemas Hidrológicos. UNLP. Inéd. La Plata.
- [3] Coruña, A., (2017). Tomografías Geoelectricas Resistividad. Universidad de coruña.
- [4] Tuinhof, A., (2002). Gestión de recursos de agua subterráneas. Una introducción a su alcance y práctica. Banco Mundial. Serie de notas Informativas.
- [5] Bernard, J. y LEITE, O. (2000) Utilización de métodos de resistividad en los estudios hidrogeológicos. En: OLMO, M.; LÓPEZ, J.A. Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología. España: Instituto geológico y Minero de España (IGME).
- [6] Burstein-Roda T. Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud pública en el Perú. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2018;35(2):297-303. doi: 10.17843/rpmesp.2018.352.3641. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- [7] Pino, E. y Coarita, F. (2018). Caracterización hidrogeológica para determinar el deterioro de la calidad del agua en el acuífero la yarada media. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- [8] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). Perú formas de accesos y saneamiento básico. Lima-Perú.
- [9] Paredes, A. y Alva, D. (2020). Aquifer potential through vertical electrical sounding (SEV) of lithostratigraphic units, Agocucho-Cajamarca 2019. Cajamarca-Perú.

y un espesor de 1.5 a 34m con alto potencial acuífero (Fig.2). En la Segunda Línea presentan 4 capas conformadas desde arcillas, limos, margas, lutitas y calizas, en la capa de arcillas (tobas volcánicas) presentan una zona de saturación de agua con una resistividad 0,1-1.8 (Ωm) y un espesor de 2 a 40m con alto potencial acuífero (Fig.3). En la Tercera Línea presentan 4 capas conformadas desde arcillas, limos, margas, lutitas y calizas, en la capa de arcillas (tobas volcánicas) presentan una zona de saturación de agua con una resistividad 0,1- 3 (Ωm) y un espesor de 5 a 25 m con alto potencial acuífero (Fig.4). En la cuarta Línea presentan 4 capas conformadas desde arcillas, limos, margas, lutitas y calizas, en la capa de arcillas (tobas volcánicas) presentan una zona de saturación de agua con una resistividad 0.1-2.5 (Ωm) y un espesor de 1a 25 m con alto potencial acuífero (Fig.5). Las interpretaciones de estos resultados se analizaron en la sección hidrogeológica A-A', dándonos los espesores aproximados de los contactos Litológicos, así como la zona de saturación de agua en profundidad. Las líneas fueron tomadas en la Formación de Volcánico San Pablo, las cuales suprayacen en discordancia angular las formaciones calcáreas, los cuales presentan una resistividad media y alta (mayores a 8 Ωm) ver (Plano 03).

IV. CONCLUSIONES

Con la aplicación del método geofísico se realizó 4 líneas (L-1, L-2, L-3, L-4) de (TGE) con la configuración DIPOLLO-DIPOLLO, se ha definido distintos niveles litológicos (Arcillas, limos, margas, lutitas y calizas) bien definidos.

Se llegó a determinar 4 capas en el subsuelo en toda el área de estudio, se denominaron como; capa 1: con un material de muy baja resistividad correlacionado como arcillas con un alta saturación; capa 2: con un material baja resistividad correlacionado con limos arcillosos ligeramente húmedos; capa 3: con un material con resistividad media correlacionado con presencia de margas; capa 4 : con material con resistividad alto correlacionado lutitas y calizas.

Se encontraron dos zonas con potencial acuífero M-1; M-2; considerándole como acuífero libre; los cuales se encuentran sobre capas de arcillas saturadas según la interpretación de la sección Geológica A- A'.

Las zonas favorables de potencial acuífero se encuentran en las Capas 1 y 2 conformado por arcillas (saturación alta) el cual presenta resistividad muy baja con espesores que varían de 1.5 a 34 m, con estos resultados se puede diseñar obras de captación subterráneo.

La zona más favorable para la captación de agua subterránea se encuentra ubicado en la sección B-B', porque presenta mayor permeabilidad.

El potencial acuífero se encontró en el horizonte 2 conformado por materiales no consolidados como arenas y gravas formando los depósitos aluviales de la zona