



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“POTENCIAL ACUÍFERO MEDIANTE EL SONDEO
ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) EN LAS UNIDADES
LITOESTRATIGRÁFICAS EN LA ZONA DE AGOCUCHO
2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Alexis Valentin Paredes Ruiz

Asesor:

Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis queridos padres Valentin Paredes
y Janet Ruiz quienes siempre me brindaron su incondicional
amor y apoyo.

A mis maravillosos hermanos Joseph y Katherin
que siempre están para mí.

A mi abuelo Santiago Paredes (Q.E.P.D) por siempre haber
confiado en mí y su gran cariño.

A mi abuela Esther Chavéz por su gran corazón y sus
mensajes de apoyo.

A mi querido primo Jhojan Ortiz por el apoyo moral
a cada momento.

AGRADECIMIENTO

Agradezco eternamente a Dios por el cuidado, conocimiento, esperanza y paciencia que me dio durante toda mi vida.

Un especial agradecimiento a mis asesores Mg. Ricardo Portilla y Dr. Reinaldo Rodriguez por su orientación y sus buenos consejos durante la planificación y desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi amigo Renato Abanto por el apoyo incondicional e desinteresado.

Al Dr. Juan Francisco Moreano Segovia y equipo técnico que me ayudaron con el uso del equipo geofísico.

A mi familia y enamorada por el apoyo durante este estudio, especialmente durante los periodos de frustración.

Siempre estaré agradecido hacia todos ustedes.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO III. RESULTADOS	38
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Coordenadas UTM de los puntos SEV	16
TABLA 2	Acceso al área de estudio	20
TABLA 3	Unidades geomorfológicas	26
TABLA 4	Precipitaciones de la estación Werberbauer	28
TABLA 5	Porosidad primaria y secundaria	31
TABLA 6	Materiales consolidados y no consolidados	32
TABLA 7	Conductividad hidráulica de las formaciones geológicas	34
TABLA 8	Clasificación hidrogeológica	35
TABLA 9	Datos de resistividad, espesor y distancia	38
TABLA 10	Datos de resistividad aparente	40
TABLA 11	Datos de resistividad aparente	42
TABLA 12	Datos de resistividad aparente	44
TABLA 13	Datos de resistividad aparente	46
TABLA 14	Datos de resistividad aparente	48
TABLA 15	Datos de resistividad aparente	50
TABLA 16	Datos de resistividad aparente	52
TABLA 17	Resistividad de materiales	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Ciclo hidrológico	12
FIGURA 2 Resistivímetro	16
FIGURA 3 Ubicación de los puntos SEV	17
FIGURA 4 Puntos SEV, vista lateral	18
FIGURA 5 Alineamiento y distribución de los electrodos	19
FIGURA 6 Centro poblado de Agocucho	20
FIGURA 7 Etapas de sedimentación	22
FIGURA 8 Formación Chimú	23
FIGURA 9 Formación Santa	24
FIGURA 10 Formación Farrat	24
FIGURA 11 Depósitos aluviales	25
FIGURA 12 Curva de precipitación 2010-2011	28
FIGURA 13 Curva de precipitación 2011-2012	28
FIGURA 14 Curva de precipitación 2012-2013	28
FIGURA 15 Curva de precipitación 2013-2014	28
FIGURA 16 Curva de precipitación 2013-2015	29
FIGURA 17 Condiciones sedimentarias	31
FIGURA 18 Tipos de poros en rocas sedimentarias	32
FIGURA 19 Ley de ohm	36
FIGURA 20 Configuración Schlumberger	37
FIGURA 21 Estación SEV 01	41
FIGURA 22 Curva de resistividad aparente del SEV 01	41
FIGURA 23 Estación SEV 02	43

FIGURA 24 Curva de resistividad aparente del SEV 02	43
FIGURA 25 Estación SEV 03	45
FIGURA 26 Curva de resistividad aparente del SEV 03	45
FIGURA 27 Estación SEV 04	47
FIGURA 28 Curva de resistividad aparente del SEV 04	47
FIGURA 29 Estación SEV 05	49
FIGURA 30 Curva de resistividad aparente del SEV 05	49
FIGURA 31 Estación SEV 06	51
FIGURA 32 Curva de resistividad aparente del SEV 06	51
FIGURA 33 Curva de resistividad aparente del SEV 07	53
FIGURA 34 Sección A-A'	56
FIGURA 35 Sección B-B'	59
FIGURA 36 Sección C-C'	63
FIGURA 37 Modelo geológico Hidrogeológico	65
FIGURA 38 Perfil geológico	66
FIGURA 39 Interacción con los pobladores de la zona	78
FIGURA 40 Método indirecto para captación de agua subterránea	78
FIGURA 41 Pozo artesanal	79
FIGURA 42 Curvas de resistividades aparentes para 2, 3 y 4 capas	80

RESUMEN

El centro poblado de Agocucho, localizado en la cuenca de Cajamarca cuenta con un limitado suministro de agua potable. Por lo que la extracción de agua subterránea ha sido identificada como la mejor fuente de suministración de agua en zonas rurales. Este estudio se llevó a cabo con el objetivo de investigar el potencial acuífero en las unidades litoestratigráficas en Agocucho usando el método de sondeos eléctricos verticales (SEV); el diseño de la investigación es experimental, aplicada, de sección transversal y nivel correlacional, y enfoque cuantitativo. El SEV se aplicó utilizando la configuración Schlumberger para determinar la resistividad y delinear el acuífero que permitirá realizar pozos de agua. Se realizó 7 SEV en el área de estudio, la data obtenida fue analizada utilizando el software IPI2WIN en donde se identificó 3 capas geoelectricas. La primera formación son areniscas arcillosas con una resistividad de 66,14 $\Omega.m$ a 84,11 $\Omega.m$ y un espesor de 15 metros. La segunda formación son sedimentos medianos con finos con una resistividad de 216 $\Omega.m$ a 302,83 $\Omega.m$ y un espesor de 25 m a 85m. La tercera formación conformada por calizas con resistividades de 513 $\Omega.m$ a 895,30 $\Omega.m$ y un espesor con rango entre los 25m a 95m. Los resultados del estudio muestran que el potencial acuífero se encuentra en la capa geoelectrica 2 a profundidades superficiales entre los 25m a 85m, correlacionándolo con la geología local como depósitos aluviales.

Palabras clave: Acuífero, sondeos eléctricos verticales

ABSTRACT

Agocucho Area, located in Cajamarca Basin has a limited supply of potable water. Groundwater has been identified as the best supply source for water supply in rural zones. This study was carried out with the aim of investigating the aquifer potential in lithostratigraphic units in Agocucho área using resistivity method. Vertical electrical sounding (VES) method was applied using Schlumberger configuration to determinate the resistivity and delineate the aquifer that help to develop wells. A total of 7 VES points were probed in the research area, The collected data was analysed using IPI2SIN software which were identified 3 geoelectric layers. The first formation is clay-sandstones with resistivity ranging from 66,15 Ω .m to 84,11 Ω .m and thickness of 15m. The second formation are sediments with resistivity ranging from 216 Ω .m to 302,83 Ω .m and thickness ranging from 25m to 85m. The third formation is characterized by fresh rock (limestone) with resistivity ranging from 513 Ω .m to 895,30 Ω .m and thickness ranging from 25m to 95m. The results of this study shows aquifer potential is located in the second geoelectric layer at shallow depths ranging between 25m to 85m, based on the geological setting this layer is aluvial deposit.

Keywords: Aquifer, vertical electrical sounding.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El cambio climático viene afectando el ecosistema de nuestro planeta y el ciclo del agua no es una excepción. El ciclo de agua o ciclo hidrológico es la constante circulación de agua cerca de la superficie de la Tierra desde los océanos hasta la atmósfera y a través la precipitación la escorrentía y el flujo de las aguas subterráneas regresan al océano (Figura 1). (Hiscock & Bense, 2014, p.10).

Debido a las altas temperaturas del calentamiento global ha generado un incremento de la tasa de evaporación a nivel mundial, entonces a mayor evaporación habrá una mayor precipitación, pero estas no se encuentra distribuidas de manera homogénea en todo nuestro planeta, existen zonas que experimentan un mayor precipitación que lo normal y en otros lugares son propensos a sequías. Vorosmarty (2000) afirma: “El calentamiento global sigue dominando la agenda mundial y una preocupación fundamental es el impacto de este cambio climático en el suministro de agua”. Actualmente la gestión de los recursos hídricos globales presenta uno de los desafíos más cruciales del siglo XXI. La población mundial aumentará en tres mil millones o más en el próximo 50 y 75 años, y la cantidad de personas que viven en áreas urbanas será más considerable. La mayor parte del crecimiento de la población mundial se producirá en países en desarrollo donde el agua ya es extremadamente corta y muchos de los residentes están empobrecidos. Incluso hoy en día, mil millones de personas no tienen acceso a agua potable segura y asequible y tal vez el doble de ellas carecen de servicios adecuados de saneamiento. De hecho, la calidad inadecuada del agua potable

es una de las principales causas de mortalidad infantil en todo el mundo (Jury & Vaux, 2005, p.15715).

Dado todos los cambios climatológicos y como esto afecta al suministro de agua, la presenta investigación se basará en el estudio de agua subterránea con fines de ayudar al abastecimiento de zonas que están en expansión. El agua subterránea es uno de los más valiosos recursos naturales y un importante agente geológico en el transporte de masas y energía dentro de la tierra (Song, Zhu, Yan, & Kang, 2012, p. 11), localizada por debajo de la superficie terrestre en suelos con espacios porosos y en las fracturas de formaciones litológicas. Una unidad de roca o un material no consolidado se denomina acuífero cuando puede producir una cantidad de agua (Alabi, Bello, Ogungbe, & Oyerinde, 2010, p.68).

Existen diversos métodos geofísicos los cuales contribuyen a la exploración de agua subterránea, uno de los más conocidos y usados es el método de sondeos electricos verticales (SEV) o también conocido como "perforación eléctrica" o "sonda de expansión", se utiliza principalmente en el estudio de interfaces horizontales o casi horizontales. La técnica se usa ampliamente en estudios geotécnicos para determinar el espesor y también en hidrogeología para definir zonas horizontales de estratos porosos. (Kearey, Brooks, & Hill, 2002, p.185).

Komen (2011) en su estudio "*Groundwater Investigation and characterisation in Marigat area, Barrigo County, Using Vertical Electrical Sounding Resistivity Surveys*" investigó el potencial de agua subterránea en Marigat usando métodos de resistividad (SEV). Obteniendo como resultados que el potencial de agua subterránea es bueno lo largo de la cuenca sedimentaria para el desarrollo a profundidades que varían entre 35m a 50 m.

Asimismo Cosenza (2006) en su investigación “*El sondeo eléctrico vertical como metodología geofísica en el estudio de capas acuíferas en la finca El Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa*” realizó 5 SEV empleando el dispositivo Schlumberger determinando la profundidad de la capa acuífera mostrando una resistividad entre 100 y 230 Ω .m y espesor que varía entre 2,5 y 25 m.

El centro poblado de Agocucho cuenta con una escasez de suministro agua, por ello muestra un gran interés como zona de investigación. El área de estudio está compuesto por depósitos cuaternarios coluvio-aluviales constituidos principalmente por gravas, arenas, limos; donde se encuentra agua subterránea que actualmente no ha sido evaluada ni cubicada en su potencial real. La aplicación del método Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) sobre los depósitos cuaternarios mostrarán una primera aproximación de la presencia y potencialidad del acuífero en la zona de investigación.

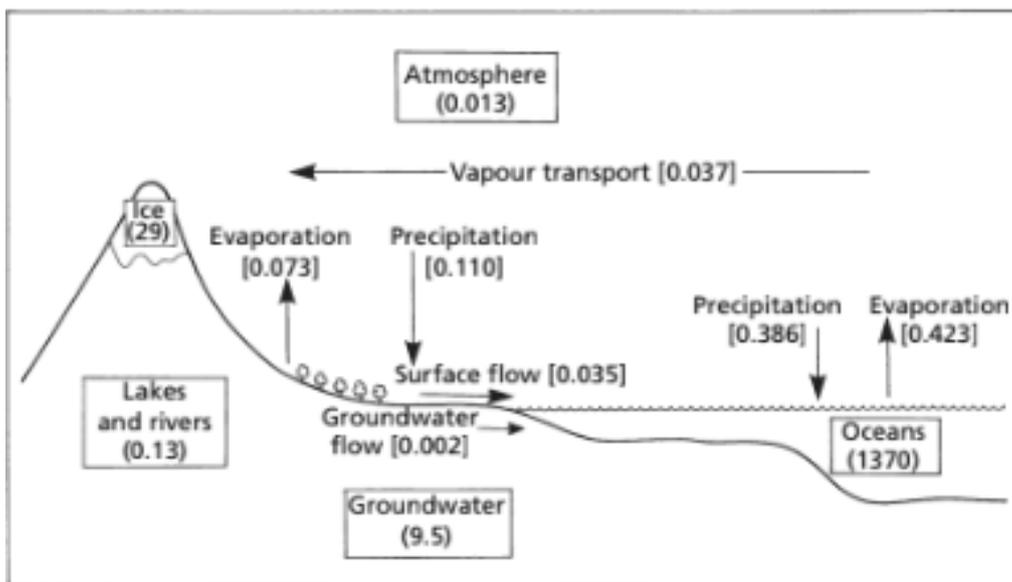


Figura 1. Ciclo Hidrológico. El ciclo global del agua tiene tres vías principales: precipitación, evaporación y transporte de vapor de agua.
Fuente: Hiscock & Bense, (2014).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el potencial acuífero mediante el sondeo eléctrico vertical en las unidades litoestratigráficas en la zona de Agocucho?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el potencial acuífero mediante el Sondeo eléctrico vertical (SEV), en las unidades litoestratigráficas en la zona de Agocucho 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las resistividades y espesores de las unidades litoestratigráficas mediante el SEV.
- Definir el acuífero en las unidades litoestratigráficas
- Elaborar un modelo hidrogeológico con los datos obtenidos del SEV
- Elaborar perfil-sección geológico ubicando los posibles acuíferos.
- Determinar la zona más favorable para la extracción de agua subterránea

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La zona de Agocucho es favorable para la existencia de un potencial acuífero en las unidades litoestratigráficas, debido a la existencia de rocas detríticas altamente fracturadas y sedimentos no consolidados, lo que permitirá una adecuada aplicación del método SEV.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El diseño de la investigación es experimental, aplicada, de sección transversal y nivel correlacional, y enfoque cuantitativo.

2.2. Población y muestra

Población. - Unidades Litoestratigraficas con potencial hídrico en la zona de agocucho

Muestra. - Los 7 puntos SEV que se realizaron en la zona de Agocucho

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de la investigación se realizó un mapeo geológico y estructural identificando las formaciones y estructuras existentes en la zona estudio y alrededores, utilizando como técnica la observación y como instrumentos de recolección de datos una libreta de campo y la ficha de observación de prospección geofísica para la aplicación de los 7 puntos de sondeos eléctricos verticales (Anexo n.º1), donde se interpretó en qué horizonte se encuentra el posible acuífero, y mediante las resistividades se identificó que formaciones se encuentran en el subsuelo. Además, se utilizó instrumentos como brújula, GPS, picota para las interpretaciones correspondientes como perfiles geológicos.

2.3.2. Análisis de datos

La información obtenida de los sondeos eléctricos se insertó en el software IPI2WIN, Geosoft, ArcGIS y AutoCAD, los cuales sirvieron para realizar los perfiles geoeléctricos.

2.4. Procedimiento

En la presente investigación se empleó el método geoelectrico de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) empleando la configuración Schlumberger, ubicándose en la zona de Agocucho, donde se tomaron 7 puntos SEV estratégicamente distribuidos, con los cuales posteriormente se realizaron horizontes.

La finalidad del trabajo tuvo como propósito identificar la litología del subsuelo en forma indirecta y localizar en que horizonte se encuentra el acuífero libre.

El equipo empleado para la prospección geofísica estuvo constituido por el equipo PASI conformado por dos unidades de lectura digital de fabricación americana.

El equipo contó con un Resistivímetro, cuatro 04 carretes o también llamadas bobinas con cables de baja resistencia eléctrica aptos para soportar tensiones, asimismo electrodos de acero inoxidable (A, B) y de cobre (M, N), 04 combas, una batería de 12V un GPS Garmin, una laptop y el software IPI2WIN para procesar los SEV y entre otros accesorios

El Resistivímetro y Transmisor–Receptor, MARCA PASI se observan en la figura 9



Figura 2. Resistivimetro Transmisor-Receptor, MARCA PASI

Ubicación de los sondeos eléctricos verticales (SEV)

Los 7 puntos de sondeo del SEV fueron ubicados con un GPS marca Garmin 64S con precisión aproximada de 3 m., utilizando coordenada UTM en el Sistema WGS84, datos que fueron ingresados en la Ficha de Prospección Geofísica, datos que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Coordenadas UTM de los 7 puntos SEV

SEV	ESTE	NORTE	COTA(msnm)
1	779,290	9,200,565	2,829
2	779,118	9,200,686	2,835
3	778,980	9,200,839	2,822
4	779,288	9,200,854	2,798
5	779,124	9,200,944	2,800
6	779,080	9,201,008	2,800
7	779,489	9,201,052	2,757

Nota. Coordenadas de los 7 puntos SEV distribuidos en la zona de estudio

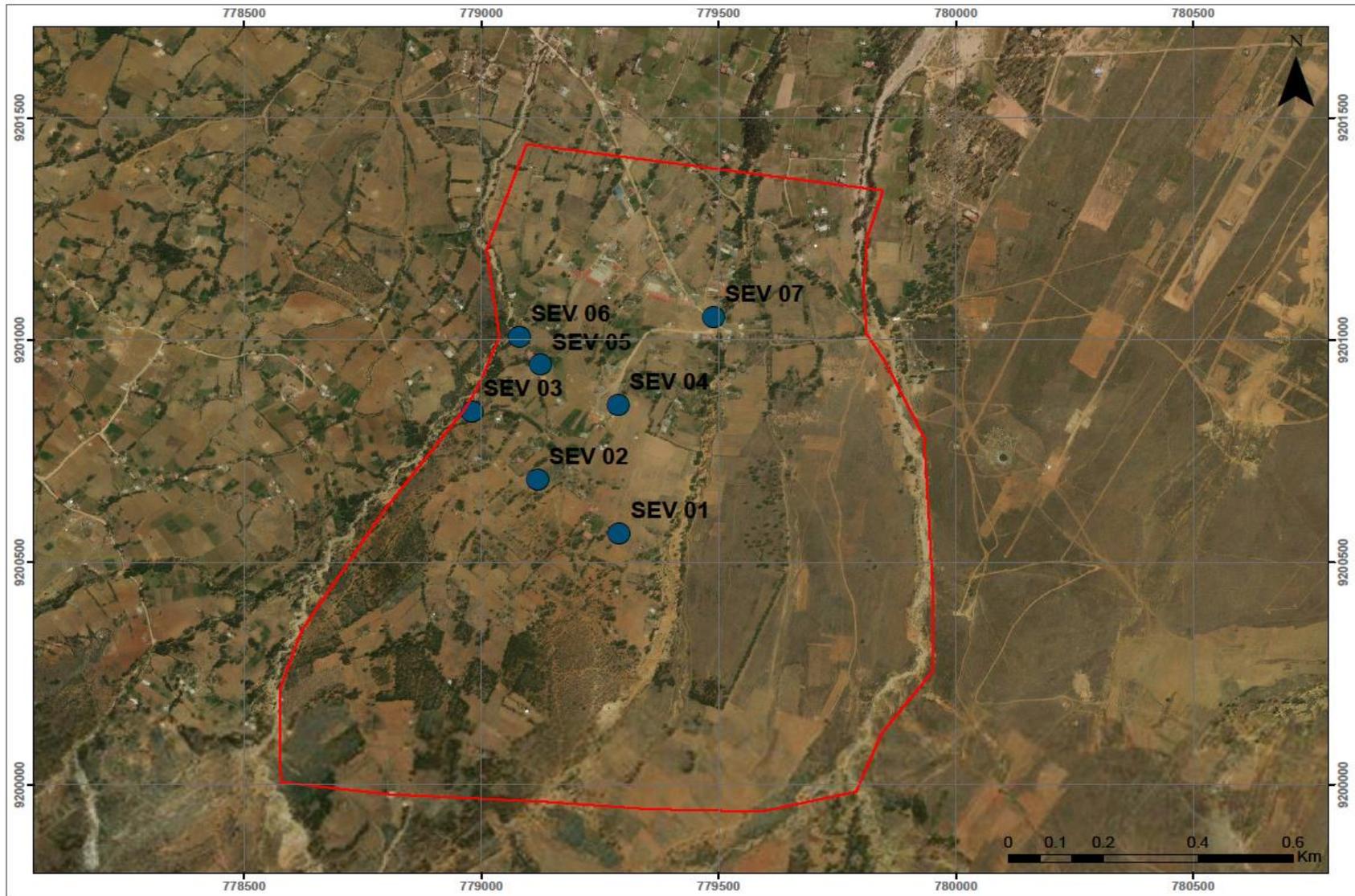


Figura 3. Ubicación de los puntos SEV

En la figura 4 se muestra la distribución de los puntos SEV en la zona de estudio, las cuales se simularon en el programa Leapfrog con la finalidad de realizar el modelo geológico-hidrogeológico, en cada sondeo se puede observar 3 colores correspondientes a la litología del área.

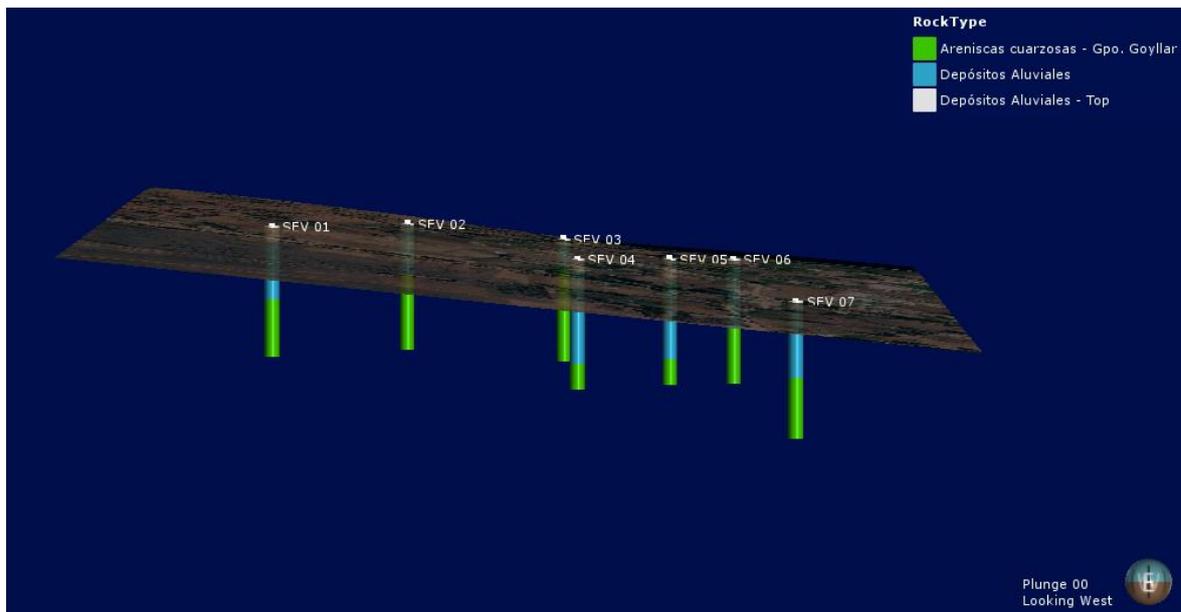


Figura 4. Puntos SEV en el área de estudio, con vista lateral.

El proceso de toma de datos se inicia con la instalación del resistímetro transmisor-receptor, marca PASI el cual se fijó en un punto central, a partir de la ubicación del dispositivo se extendió en sentidos opuestos los electrodos A y B, los cuales se extendieron a ciertas medidas comprendidas entre los 1,5 metros hasta los 150 metros. A la vez se distribuyó los electrodos potenciales M y N. Una vez instalados los electrodos se aplicó el voltaje en los electrodos M y N se midió la resistividad en los puntos A y B. Una vez tomada la medición de la resistividad de los electrodos A y B se cambia de posición lineal hasta llegar a los 150 metros. Como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Alineamiento y distribución de los electrodos utilizados en campo configuración Schlumberger

2.5. Generalidades

Ubicación

El área de la investigación se ubicó en el centro poblado Agocucho, al Sur-Este de la ciudad de Cajamarca a 9km de esta. La zona de estudio se encuentra en el cuadrángulo 15g de la carta geológica nacional, en las siguientes coordenadas UTM, datum WGS84-zona 17s.



Figura 6. Centro poblado de Agocucho.

Accesibilidad

Tabla 2

Acceso al área de estudio

RUTA	DISTANCIA	TIPO DE VIA	TIEMPO (min)
Lima-Cajamarca	873,9 km	Asfaltada	14h 34 min
Cajamarca-Agocucho	10,6 km	Asfaltada	28 min

Nota. Distancia y tiempo al área de investigación

Clima y temperatura

Según Sanchez (2012, p.48-49) El clima de la región Cajamarca es resultante de dos gradientes: temperatura y humedad. La temperatura mínima y máxima son de 5° C y 20°C respectivamente, la distribución térmica media a lo largo del año presenta una tendencia a ser constante en su respectivo piso ecológico, excepto durante los meses

de junio a agosto, en los cuales en todos los casos la temperatura experimenta una disminución. Por otro lado la distribución de los volúmenes de precipitación es bimodal durante el año en su respectivo piso ecológico. Los volúmenes de precipitación aumentan entre enero y marzo y decrecen básicamente de mayo a octubre, lo cual coincide con la estación de bajas temperaturas del invierno

Geología

El área de estudio se caracteriza por la presencia rocas sedimentarias del cretáceo inferior y depósitos cuaternarios. El proceso sedimentario de la zona paso por varias etapas según el ciclo geológico.

Meteorización

Son cambios físicos-químicos que desintegran y descomponen las rocas preexistentes in situ, lo que forma un material suelto (Mantilla, 2005, p. 151).

Erosión

Agentes geológicos externos destruyen las rocas frescas o alteradas, y les arranca de su posición primitiva por medio de sus acciones erosivas (Mantilla, 2005, p. 151).

Transporte

Los mismos agentes geológicos transportan los materiales hacia otros lugares, principalmente a las cuencas de sedimentación (Mantilla, 2005, p. 152).

Deposición

Es el destino final del material erosionado y transportado como el mar u otra cuenca; dicho material puede temporalmente depositarse (Mantilla, 2005, p. 152).

Litificación

Es el proceso de conversión de los sedimentos en rocas sedimentarias (Mantilla, 2005, p. 152).

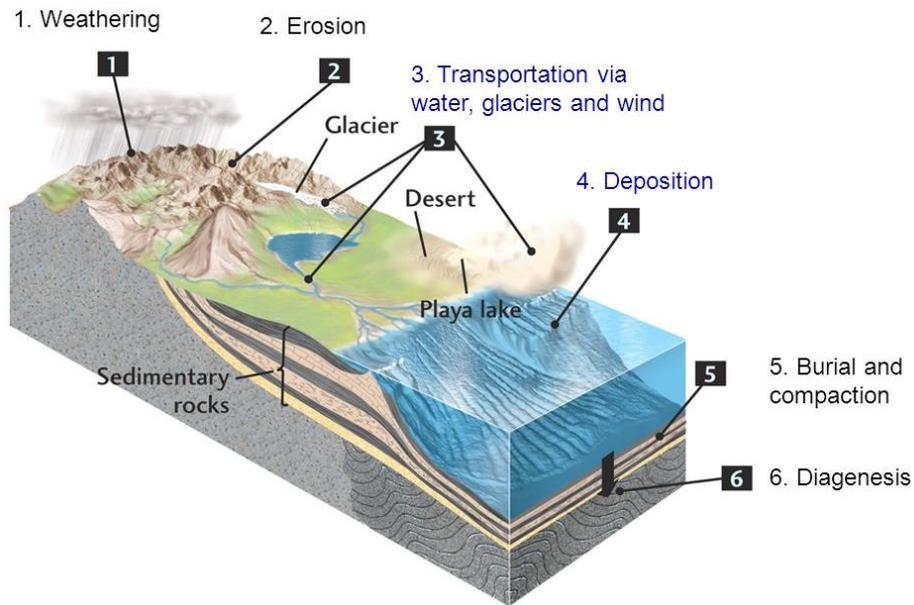


Figura 7. Etapas de sedimentación
Fuente: <https://slideplayer.com/slide/4195822/>

Estratificación

Disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias durante su sedimentación. La estratificación puede ser concordante, discordante y cruzada (Mantilla, 2005, p. 163).

Estratigrafía de la zona

Grupo Goyllarisquizga

Este grupo está integrado por las formaciones chimú, Santa-Carhuaz y Farrat, litológicamente consta de cuarcitas blancas masivas y areniscas de grano medio y color blanquecinos.

➤ Formación Chimú.

Intercalaciones de areniscas de grano medio, areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y una potente secuencia de cuarzosas blancas, en bancos gruesos. Tiene un

grosor aproximadamente superior a los 600 m. Típico de un ambiente playero a continental.

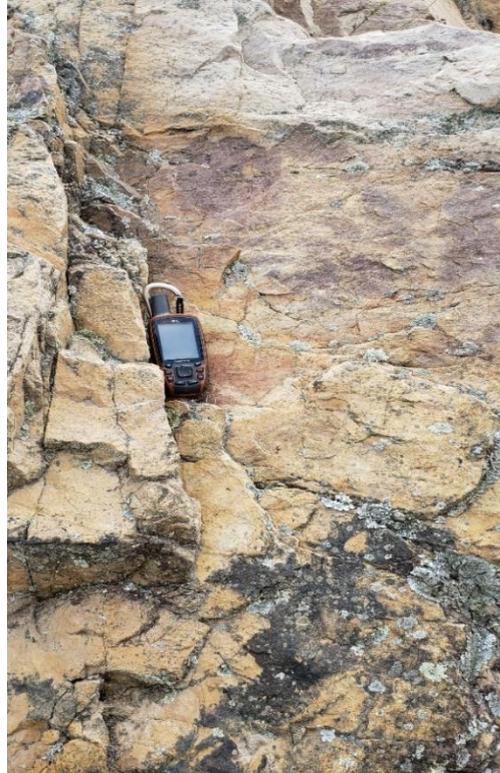


Figura 8. Formación chimú.
Coordenadas E: 777040 N:9202237

➤ **Formación Santa.**

Formado en un ambiente marino somero de aguas salobres muy cercanos a la costa la cual consta de intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras con un grosor que oscila entre los 100 y 150m.



Figura 9. Formación santa, presencia de margas blancuecinas
Coordenadas E: 776442 N:9201890

➤ **Formación Farrat**

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior., formados en un ambiente litoral- playero que consta de areniscas cuarzosas blancuecinas de grano fino a medio, tienen un grosor promedio de 500 metros , con una estratificación cruzada como se puede observar en la figura 10.



Figura 10. Fracturamiento en la formación farrat, estratificación cruzada
Coordenadas E: 779227 N:9200164

Depósitos Cuaternarios.

➤ Depósitos aluviales

Corresponde áreas favorables en los flancos de los valles y quebradas, constituido por sedimentos granulares sub-angulosos a angulosos como cantos, gravas, arenas y limos.



Figura 11. Depósitos aluviales con presencia de gravas y arenas sub-angulosos
Coordenadas E: 779236 N:9200231

Geomorfología

El área de estudio presenta geoformas originadas por la evolución tectónica y por los procesos de morfogenesis, se ha identificado tres unidades morfogenéticas (UM) planicies, lomadas y laderas.

➤ Planicies

Superficie bastante homogénea, poco cambiante en su morfología, ligeramente ondulada, poca erosión actual y fácil de manejar para actividades agrícolas y ganaderas. Está afectada por los procesos de erosión pluvial y puede encontrarse en cualquier lugar del área.

El rango de pendientes es de 0° a 8° define las planicies y comprende áreas distribuidas en los cauces de los dos ríos relacionadas con los depósitos aluviales y fluvio-aluviales, son producto de los procesos de erosión de las rocas del Cretácico hasta el Neógeno y depositadas en el Cuaternario

➤ **Lomadas**

Elevaciones que no sobrepasan los 150 a 200 metros, con geoformas de tendencia cómica, pequeñas elevaciones, homogéneas y pendientes suaves. Su rango de pendientes está entre 8° y 20.

➤ **Laderas**

Geoformas inclinadas de una cadena montañosa según Dávila (2011), con pendientes en el intervalo de 20° a 50° y pueden afectar a cualquier tipo de litología.

Tabla 3

Unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	
PENDIENTE	DESCRIPCIÓN
0-8°	Planicies
8-25°	Lomadas
25 – 50°	Laderas
>50°	Escarpas

Nota. Clasificación de las unidades geomorfológicas de acuerdo a la pendiente. (Rodríguez, 2014)

Hidrología

Ley de Darcy

Darcy encontró que la velocidad a la cual el agua fluye a través del medio poroso es directamente proporcional a la diferencia de altura entre los dos extremos del lecho filtrante, e inversamente proporcional a la longitud del lecho (Hiscock & Bense, 2014, p.35)

$$Q = -K \cdot A \cdot \left(\frac{dh}{dl} \right)$$

Donde:

K: Es una constante de proporcionalidad referida a la conductividad hidráulica

Q: Descarga (m³/s)

dh/dl: Gradiente hidráulico

A: Área de la sección transversal de la trayectoria del flujo (m²).

Para entender la distribución y circulación de agua en la zona de estudio se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

Precipitación

Los datos de precipitación para la zona de Agocucho se obtuvo del estudio Rodríguez (2014) en su estudio de método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo-Corisorgona, donde toma los datos de precipitación de la estación Werberbauer.

En la tabla 4, se muestra los valores de las precipitaciones tomadas durante los años 2010-2015.

Tabla 4

Precipitaciones de la estación Werberbauer

Ciclo de precipitación	AÑO ANTERIOR							AÑO POSTERIOR				
	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
PRECIPITACIÓN 2010-2011	6,0	2,9	0,0	2,3	37,6	30,8	77,6	27,8	56,6	85,8	58,0	7,9
PRECIPITACIÓN 2011-2012	0,5	10,9	0,0	34,0	26,6	13,6	105,2	138,2	137,4	125,9	60,6	46,9
PRECIPITACIÓN 2012-2013	0,9	0,0	0,0	24,9	64,5	58,8	27,8	18,6	72,6	148,8	52,4	42,1
PRECIPITACIÓN 2013-2014	10,1	0,0	5,4	4,1	103,9	22,3	47,7	75,5	46,6	125,6	52,4	42,1
PRECIPITACIÓN 2014-2015	6,9	2,5	5,0	37,3	34,9	60,1	153,0	243,9	72,9	266,3	83,8	100,3

Nota. Precipitaciones de los meses entre los años 2010 al 2015 (Rodríguez, 2014)

En las figuras 12 – 16 se muestran los resultados que los meses entre noviembre y mayo existe una mayor precipitación, correspondientes a meses de lluvia.

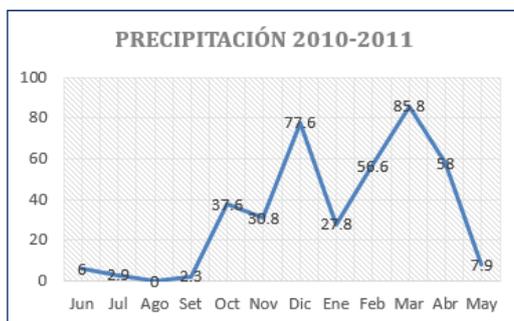


Figura 12. Curva de precipitación 2010-2011

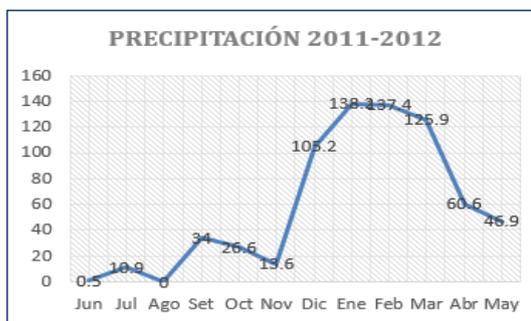


Figura 13. Curva de precipitación 2011-2012.

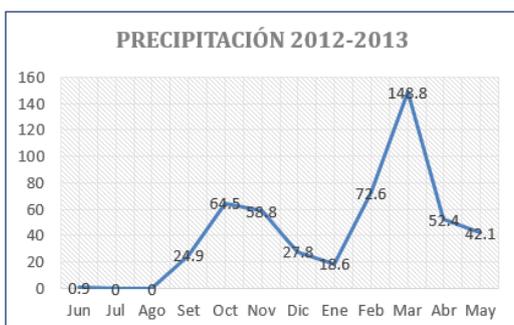


Figura 14. Curva de precipitación 2012-2013.

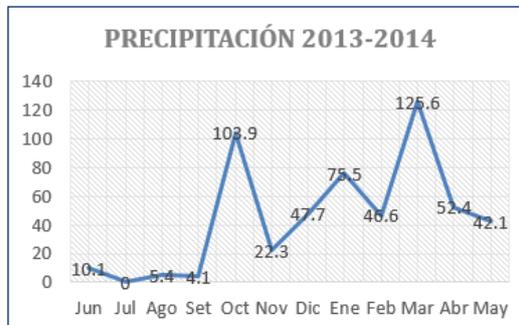


Figura 15. Curva de precipitación 2013-2014.

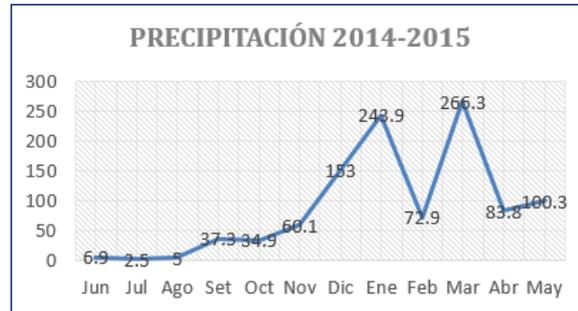


Figura 16. Curva de precipitación 2014-2015.

Infiltración

La infiltración es un factor muy importante que favorece la alimentación del acuífero cuando ingresa por la porosidad primaria y secundaria. La zona de estudio comprende una porosidad secundaria, debido a la existencia de fracturas en los diferentes macizos rocosos en la parte superior de Agocucho, además se encuentra compuesta por materiales no consolidados (depósitos aluviales) los cuales tiene un porcentaje alto de porosidad como se indica en la tabla 5

Hidrogeología.

La clave para los acuíferos aluviales es el patrón y la organización del aluvión arenoso y grava, en particular la distribución de los estratos de grano grueso (acuífero) y de grano fino (confinamiento y semiconfinamiento) (Maliva, 2016, p.62).

En la zona de investigación las fuentes de recarga de agua subterránea son, la precipitación y la infiltración, y recarga inducida de las aguas superficiales. Gran parte de la recarga de precipitación ocurre durante el invierno entre los meses de Enero a Marzo. La infiltración originada por la recarga conforma el acuífero subterráneo en los depósitos cuaternarios y el

basamento rocoso, lo cual depende de la intensidad y la distribución de los eventos de precipitación según Vogelgesang (2017).

Además se identificó rocas sedimentarias clásticas de las formaciones farrat y chimú compuestas por areniscas. Y según Singhal & Gupta (2010) las areniscas son más permeables, son de principal interés como una fuente de abastecimiento de agua, potencialidad, así como la calidad del agua. Las propiedades hidrogeológicas de las areniscas dependen de sus características texturales que a su vez está influenciado por los ambientes de deposición y los cambios subsecuentes debido a la cementación, consolidación y fracturación.

Geológicamente, las areniscas más antiguas tiene poco porosidad y conductividad hidráulica debido a la mayor compactación y cementación, por lo tanto las areniscas más jóvenes de edades mesozoicas y terciarias forman los acuíferos más productivos que cubren grandes áreas.

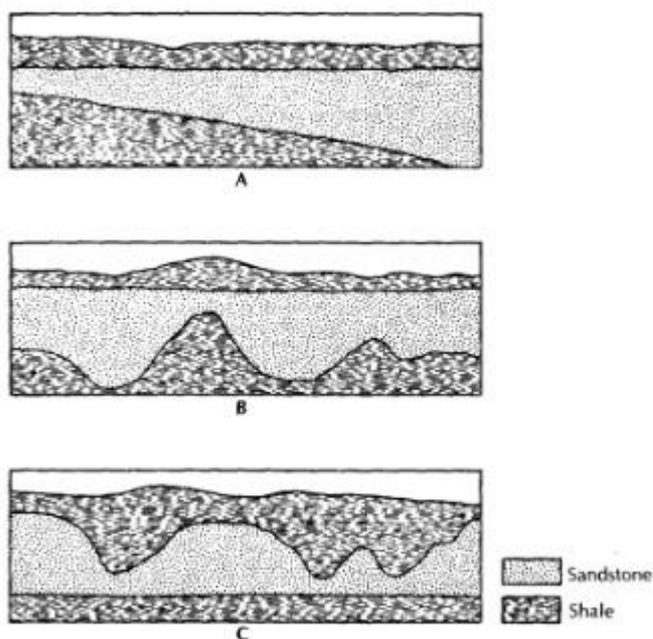


Figura 17. Condiciones sedimentarias que producen un acuífero de areniscas de espesor variable. **A.** Areniscas depositadas en una cuenca sedimentaria. **B.** Areniscas depositadas de manera inconforme sobre una superficie erosionada. **C.** Superficie de areniscas seccionado por erosión antes de la deposición
Fuente: Fetter (2001).

La porosidad a menudo se descompone en porosidad primaria o secundaria. Porosidad primaria son los espacios vacíos que se produjo cuando se formó la roca o el material geológico (Weight, 2008, p.94).

Tabla 5

Porosidad primaria y secundaria

Porosidad primaria	Porosidad secundaria
Vesículas	Fallas
Poros intergranulares	Fracturas
Separación entre capa y discordancias	Estilolitas
Espacios entre flujos de lava	Canales de solución
Poros intercristalinos	

Nota. La porosidad se divide en dos porosidad primaria y secundaria. La porosidad primaria hacer referencia a los espacios vacíos que ocurre cuando se forma una roca. La porosidad secundaria se refiere a los espacios creados después que la roca se formó (Weight, 2008).

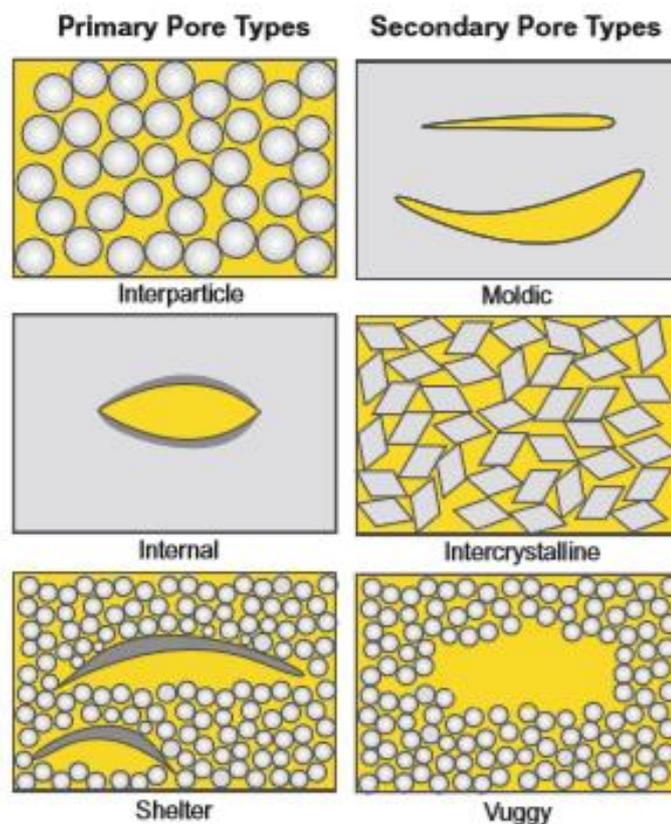


Figura 18. Tipo de poros común en rocas sedimentarias.
Fuente: Maliva (2016)

Cuanto más disminuye el tamaño del grano, el total de porosidad incrementa pero la retención específica incrementa también. Cuanto menor sea el tamaño de grano, mayor será el área superficial para que el agua se adhiera (Weight, 2008, p.97).

Tabla 6

Materiales consolidados y no consolidados

Materiales no consolidados	n%	Roca	n%
Arcillas	40-70	Areniscas	5-35
Arena	25-50	Calizas/Dolomitas	<1-20
Gravas	20-40	Esquisto	<1-10
Arena y gravas	15-35	Roca cristalina (fracturada)	<1-5
		Basalto vesicular	5-50

Nota. La siguiente tabla muestra los rangos de porosidad en típicos materiales de la Tierra (Weight, 2008).

Conductividad Hidráulica

Ahora que se ha considerado la capacidad de los materiales para almacenar agua, otro importante término se refiere a la capacidad de los fluidos para moverse a través de ellos. El término comúnmente usado es la conductividad hidráulica. Abarca la capacidad de un material para conducir fluidos bajo un gradiente hidráulico unitario considerando la viscosidad dinámica en unidades de longitud de tiempo (L/t). Esta viscosidad es un término que indica la resistencia del flujo del fluido, tiene como unidades newton por segundo sobre metros cuadrados ($N.s/m^2$). Permeabilidad es otro término común que expresa la capacidad de los fluidos para pasar a través de los materiales de la Tierra y muchas veces ambos la conductividad hidráulica y la permeabilidad se utilizan en estudios de agua subterránea (Weight, 2008, p.104).

El agua subterránea generalmente siempre se está moviendo. El movimiento ocurre desde la parte alta de la carga hidráulica (hydraulic-head) en las áreas de recarga ya sea natural o artificial, donde la precipitación generalmente es alta y las áreas de descarga de baja descarga hidráulica (pozos, manantiales, ríos, lagos y humedales).

La gravedad es la fuerza impulsora que mueve el agua. El agua subterránea infiltrante se mueve hacia abajo hasta que alcanza un horizonte con una conductividad hidráulica lo suficientemente baja como para comenzar a amontonarse. El agua subterránea se mueve tan lentamente (pies / año a pies / día) que las acumulaciones de agua en las áreas de recarga pueden acumularse antes de que sus efectos en el sistema puedan equilibrarse (Weight, 2008, p.173).

El área de investigación se encuentra sobre depósitos cuaternarios (Q-al), y las formaciones Chimú, Carhuaz y Farrat según el INGEMMET la conductividad hidráulica (m/día) es de $0,1-10^2$, $2,0-10^{-1}$, $1,15-10^{-1}$, $1,06-10^{-1}$ respectivamente. “Hazen demostró que la

conductividad hidráulica puede estar relacionado con la dimensión característica de un sedimento por otro lado Shepherd analizó que la conductividad hidráulica está relacionada con el tamaño de grano” (como lo cita Fetter,2001).

Tabla 7

Conductividad Hidráulica de las formaciones geológicas

N°	Formación Geológica	Descripción Litológica	Control Estructural	Conductividad Hidráulica (m/día)	Porosidad (%)	Clasificación Hidrogeológica
1	Depósitos aluviales	Predominan gravas, cantos y bloques que van de angulosos a redondeados dentro de una matriz arena-limo-arcilla	-	0,1-10 ²	35-50	Acuífero poroso no consolidado
2	Formación Chimú	Areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas y delgados estratos de carbón. En la parte superior se observan estratos de areniscas cuarzosas	Fallas Fracturas Plegamientos	2,0-10 ⁻¹	5-35	Acuífero fisurado sedimentario
3	Formación Carhuaz	Areniscas rojizas y cuarzosas con lutitas grises blandas y friables	Estratificación cruzada y fallas	1,15-10 ⁻¹	5-35	Acuitardo sedimentario
4	Formación Farrat	Secuencia de estratos de areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso	Fallas Fracturas Plegamientos	1,06-10 ⁻¹	5-35	Acuífero fisurado sedimentario

Nota. Los valores de conductividad fueron medidos en el campo por el método de lefrang (Ingemmet, 2015)

Clasificación hidrogeológica de las unidades geológicas

Con respecto a las unidades litológicas según el INGEMMET, los depósitos cuaternarios con un espesor de 25 a 40 m constituyen un acuífero poroso no consolidado; las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat son clasificadas en acuífero y acuitardos en roca fracturada. Estas consideraciones se indican en los estudios de Carlotto y Peña (2012) en su estudio

Geología e hidrogeología regional de la zona del proyecto Conga y alrededores, criterios que están en la tabla 8.

Tabla 8

Clasificación hidrogeológica

Unidades litológicas	Símbolo	Descripción	Espesor	Clasificación hidrogeológica
Depósitos Cuaternarios	Qh-al Qp-fg Qp-mo	Depósitos morrénicos, fluvioglaciares y aluviales de gravas y bloques con matriz arenosa y arenas en terrazas	25-40 m	Acuífero poroso no consolidado
Formación Farrat	Ki-fa	Cuarcitas y areniscas cuarzosas con laminación cruzada de origen fluvial y deltaico	500 m	Acuífero en roca fracturada
Formación Chimú	Ki-chi	Areniscas cuarzosas y cuarcitas, con intercalaciones de areniscas y lutitas	600 m	Acuífero en roca porosa

Nota. Clasificación hidrogeológica de las unidades litológicas del área de estudio (Ingemmet,2012)

Geofísica

En la presente investigación se empleó el método geoelectrico de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) empleando la configuración Schlumberger.

Este método implica la detección en la superficie de los efectos producidos cuando una corriente eléctrica fluye a través del suelo. Se basa en la medición de la intensidad en la superficie y de la diferencia del potencial entre los diferentes electrodos del dispositivo de medición. La relación de estos dos parámetros permite determinar la resistividad de terrenos subyacentes. Según Auge (2008) la resistividad es una propiedad inversa a la conductividad eléctrica y generalmente se expresa en $\Omega.m$.

El flujo de una corriente eléctrica a través de las rocas o los sedimentos, puede explicarse mediante la Ley de Ohm que establece que la caída de potencial V entre 2 puntos por los

que circula una corriente eléctrica de intensidad I , es proporcional a ésta y a la resistencia R que ofrece el medio al pasaje de la corriente (Auge, 2008,p.2).

Ley de Ohm

$$V = IR$$

Dónde:

V: Diferencia de Potencial (voltios)

I: Corriente eléctrica (amperios)

R: Resistencia Eléctrica (ohm)

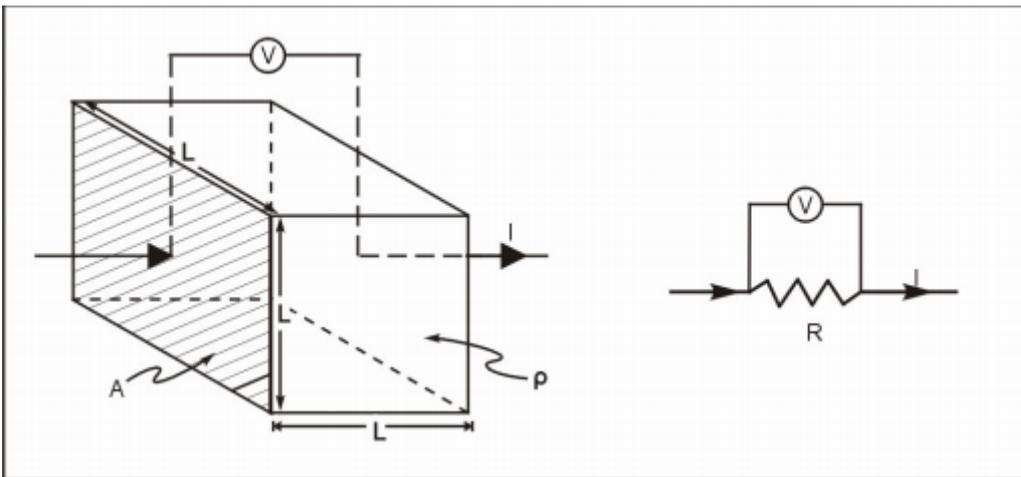


Figura 19. Ley de Ohm

Fuente: Auge, (2008).

Configuración Schlumberger

En esta configuración los electrodos potenciales internos tienen un espaciado de $2l$.

En el sondeo vertical eléctrico (SEV), los electrodos potenciales permanecen fijos y los electrodos actuales se expanden simétricamente alrededor del centro de la extensión.

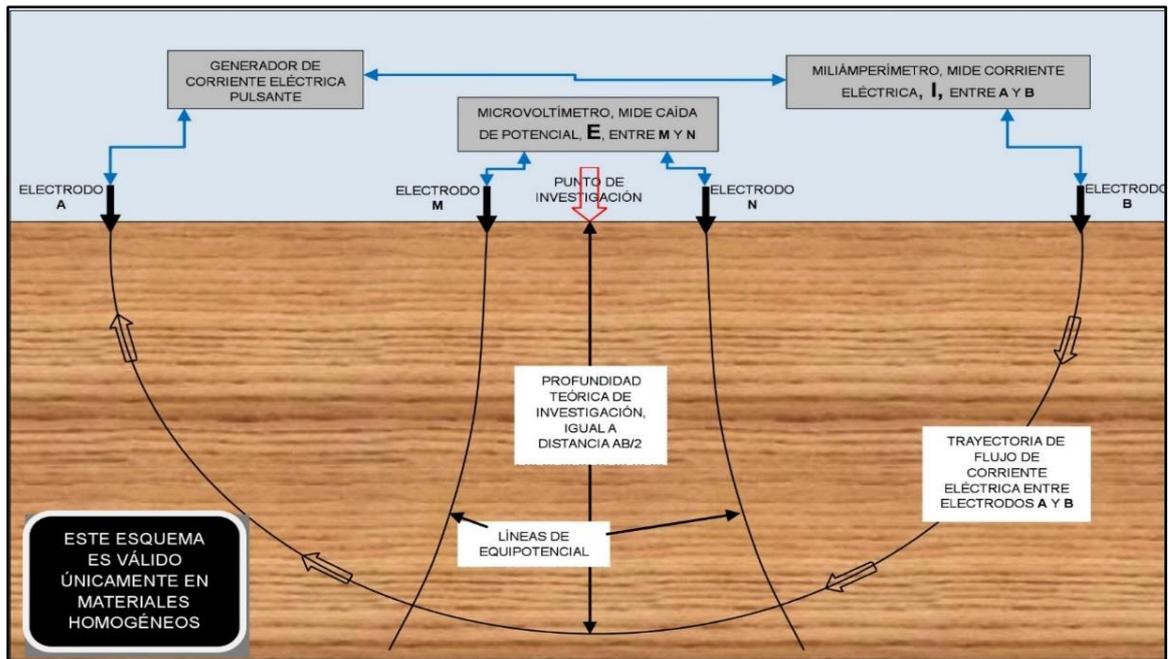


Figura 20. Configuración Schlumberger
Fuente: Kearey, Brooks, & Hill, (2002).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Toda la información de campo fue procesada, analizada e interpretada, para lo cual se utilizó el software IPI 2WIN, desarrollado en el Departamento de Geofísico de la Facultad de Geología de la Universidad Estatal de Moscú y en oficina se utilizó otro software GeoSoft/ WinSev 6.3 de procedencia Sueca.

Los resultados de la interpretación cuantitativa de los sondeos eléctricos verticales–SEVs, se muestra en la tabla 9, donde se muestran los valores de resistividades eléctricas y espesores de las diferentes capas que conforman el relleno estratigráfico de esta área de estudio. Las determinaciones de espesores y resistividades en estos puntos pueden tener errores de hasta del 10–20 %.

Tabla 9

Datos de resistividad, espesor y distancia

SEV	PARÁMETROS	CAPAS GEOELECTRICAS		
		1	2	3
1	P (Ω .m)	72,51	282,84	824,52
	H (m)	15,00	55,00	50,00
	D (m)	15,00	70,00	125,00
2	P (Ω .m)	71,00	302,83	895,30
	H (m)	10,00	40,00	75,00
	D (m)	10,00	50,00	125,00
3	P (Ω .m)	66,14	187,03	748,09
	H (m)	7,00	23,00	95,00

	D (m)	7,00	30,00	125,00
	P (Ω .m)	68,33	257,25	517,68
4	H (m)	15,00	85,00	25,00
	D (m)	15,00	100,00	125,00
	P (Ω .m)	70,33	216,76	513,94
5	H (m)	20,00	80,00	25,00
	D (m)	20,00	100,00	125,00
	P (Ω .m)	65,94	266,45	609,49
6	H (m)	7,00	63,00	55,00
	D (m)	7,00	70,00	125,00
	P (Ω .m)	84,11	260,34	571,89
7	H (m)	7,00	63,00	55,00
	D (m)	7,00	70,00	125,00

Nota. Valores de resistividad de los puntos de muestreos, empleando el método Schlumberger.

Estación Geofísica

➤ SEV 01

En la figura 21 se observa la estación 1, con sus coordenadas. Asimismo, los resultados del sondeo eléctrico 01 se obtuvieron en campo generando las curvas de resistividad aparente las cuales se obtuvieron con la distancia AB/2 de cada medida vs las resistividades aparentes de cada punto. Estas distancias y resistividades se pueden apreciar en la tabla 10

Tabla 10

Datos de resistividad aparente

AB/2 (m)	Resistividad (Ω .m)
3	39.01
5	63.48
7	75.38
10	77.39
10	79.49
15	92.27
20	123.77
30	208.66
40	395.23
50	438.54
70	438.54
100	774.53
125	1260.49
150	0.00

Nota. Resistividad obtenida en campo del SEV
01. AB/2 es la distancia en donde se colocó los
electrodos

Estos datos fueron ingresados en el software IPI2WIN, el cual sirvió para la interpretación de las curvas de resistividades aparente. En la figura 22 se puede apreciar dos tipos de curvas: de coloración roja la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica coloración azul. Donde se interpreta que hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad figura 42 (Van Nostrand & Cook, 1966)

Estas 3 capas geoelectricas presentan resistividades de 72,5, 282,84 y 824,52 Ω .m respectivamente y espesores de 15, 55 y 50 metros datos que se muestran en la Tabla 9.



Figura 21.. Estación SEV 01 con coordenadas N: 9200565 y E: 779290, ubicado al sur-este del centro poblado de Agocucho.

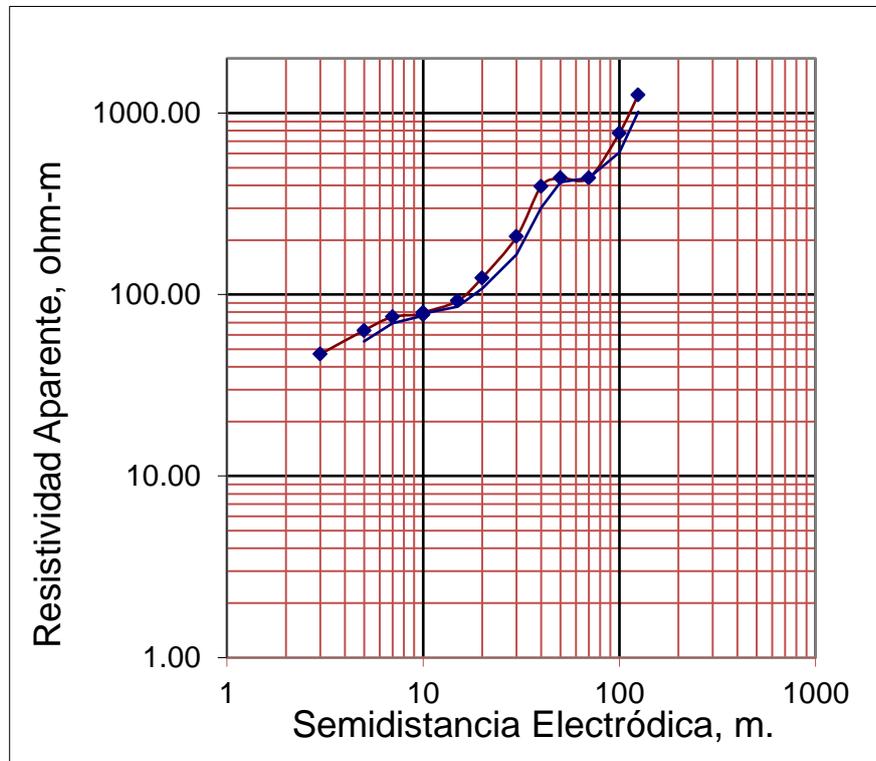


Figura 22. Curva de resistividad aparente del SEV 01, en las abscisas se muestra la distancia AB/2 de cada medida y en las ordenadas las resistividades aparentes.

➤ SEV 02

En la figura 23 se observa la estación 2, con sus coordenadas. Asimismo, los resultados del sondeo eléctrico 02 se obtuvieron en campo generando las curvas de resistividad aparente las cuales se obtuvieron con la distancia AB/2 de cada medida vs las resistividades aparentes de cada punto. Estas distancias y resistividades se pueden apreciar en la tabla 11.

Tabla 11

Datos de resistividad aparente

AB/2 (m)	Resistividad (Ω .m)
3	39.01
5	49.73
7	74.02
10	97.52
10	94.70
15	164.28
20	269.89
30	306.74
40	411.47
50	569.87
70	800.17
100	976.45
120	1234.72
150	0.00

Nota. Resistividad obtenida en campo del SEV
02. AB/2 es la distancia en donde se colocó los
electrodos

Estos datos fueron ingresados en el software IPI2WIN, el cual sirvió para la interpretación de las curvas de resistividades aparente. En la figura 24 se puede apreciar dos tipos de curvas: de coloración roja la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica coloración azul. Donde se interpreta que hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad figura 42 (Van Nostrand & Cook, 1966)

Estas 3 capas geoelectricas presentan resistividades de 71, 302,83 y 895,30 Ω .m respectivamente y espesores de 10, 40 y 75 metros datos que se muestran en la Tabla 9.



Figura 23. Estación SEV 02 con coordenadas N: 9200686 y E: 779118, ubicado al sur del centro poblado de Agocucho.

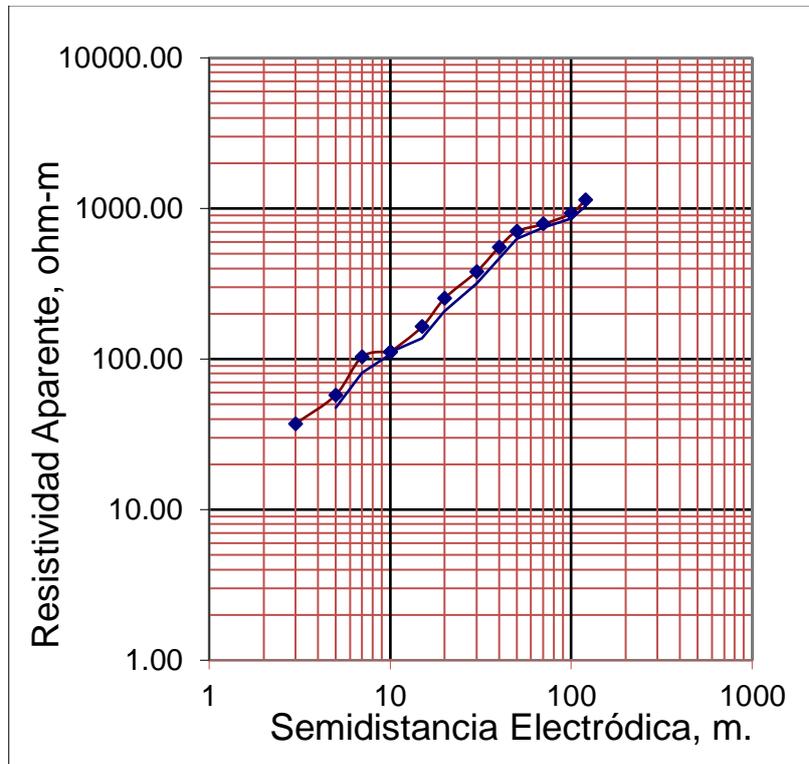


Figura 24. Curva de resistividad aparente del SEV 02, en las abscisas se muestra la distancia AB/2 de cada medida y en las ordenadas las resistividades aparentes.

➤ SEV 03

En la figura 25 se observa la estación 3, con sus coordenadas. Asimismo, los resultados del sondeo eléctrico 03 se obtuvieron en campo generando las curvas de resistividad aparente

las cuales se obtuvieron con la distancia AB/2 de cada medida vs las resistividades aparentes de cada punto. Estas distancias y resistividades se pueden apreciar en la tabla 12.

Tabla 12

Datos de resistividad aparente

AB/2 (m)	Resistividad (Ω .m)
3	37.17
5	57.75
7	103.51
10	111.52
10	110.97
15	163.64
20	252.94
30	379.60
40	553.30
50	702.41
70	787.26
100	926.45
120	1139.51
150	0.00

Nota. Resistividad obtenida en campo del SEV
03. AB/2 es la distancia en donde se colocó los
electrodos

Estos datos fueron ingresados en el software IPI2WIN, el cual sirvió para la interpretación de las curvas de resistividades aparente. En la figura 26 se puede apreciar dos tipos de curvas: de coloración roja la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica coloración azul. Donde se interpreta que hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad figura 42 (Van Nostrand & Cook, 1966)

Estas 3 capas geoelectricas presentan resistividades de 66,14, 187,03 y 748,09 Ω .m respectivamente y espesores de 7, 23 y 95 metros datos que se muestran en la Tabla 9.



Figura 25. Estación SEV 03 con coordenadas N: 9200839 y E: 778980, ubicado al sur-oeste del centro poblado de Agocucho.

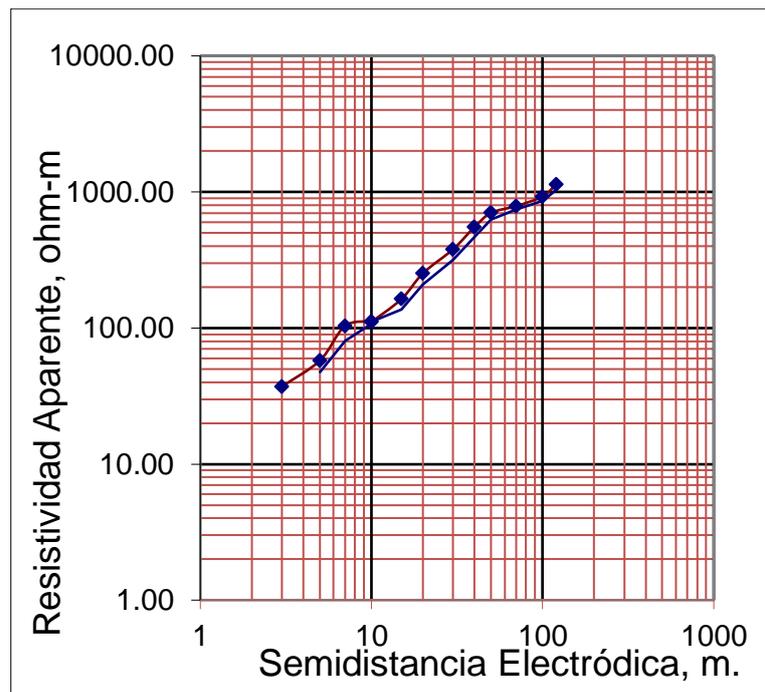


Figura 26. Curva de resistividad aparente del SEV 03, en las abscisas se muestra la distancia AB/2 de cada medida y en las ordenadas las resistividades aparentes.

➤ **SEV 04**

En la figura 27 se observa la estación 4, con sus coordenadas. Asimismo, los resultados del sondeo eléctrico 04 se obtuvieron en campo generando las curvas de resistividad aparente las cuales se obtuvieron con la distancia AB/2 de cada medida vs las resistividades aparentes de cada punto. Estas distancias y resistividades se pueden apreciar en la tabla 13.

Tabla 13

Datos de resistividad aparente

AB/2 (m)	Resistividad (Ω .m)
3	22.23
5	35.75
7	61.15
10	84.73
10	87.89
15	118.22
20	150.60
30	202.82
40	269.46
50	314.89
70	344.53
100	400.21
120	517.68
150	0.00

Nota. Resistividad obtenida en campo del SEV 04. AB/2 es la distancia en donde se colocó los electrodos

Estos datos fueron ingresados en el software IPI2WIN, el cual sirvió para la interpretación de las curvas de resistividades aparente. En la figura 28 se puede apreciar dos tipos de curvas: de coloración roja la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica coloración azul. Donde se interpreta que hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad figura 42 (Van Nostrand & Cook, 1966)

Estas 3 capas geoelectricas presentan resistividades de 68,33, 257,25 y 517,68 Ω .m respectivamente y espesores de 15, 85 y 25 metros datos que se muestran en la Tabla 9.



Figura 27. Estación SEV 04 con coordenadas N: 9200854 y E: 779288, ubicado al sur del centro poblado de Agocucho.

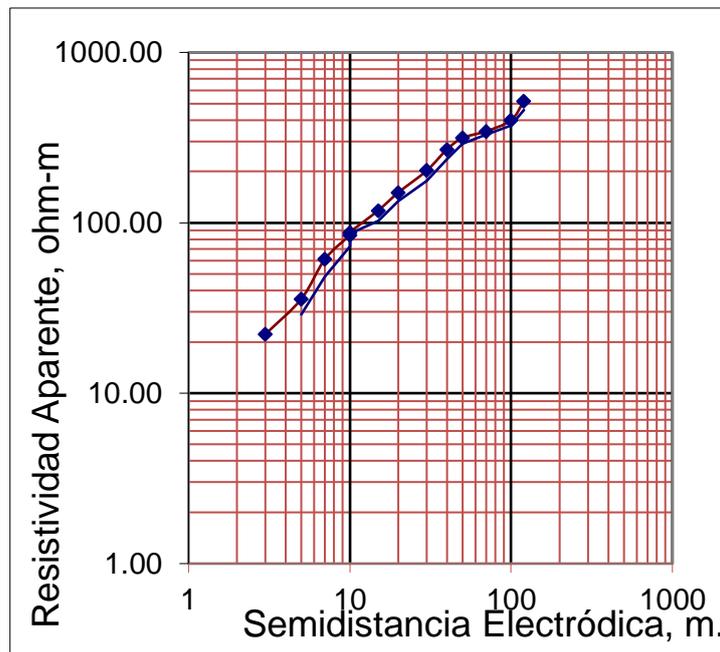


Figura 28. Curva de resistividad aparente del SEV 04, en las abscisas se muestra la distancia AB/2 de cada medida y en las ordenadas las resistividades aparentes.

➤ **SEV 05**

En la figura 29 se observa la estación 5, con sus coordenadas. Asimismo, los resultados del sondeo eléctrico 05 se obtuvieron en campo generando las curvas de resistividad aparente las cuales se obtuvieron con la distancia AB/2 de cada medida vs las resistividades aparentes de cada punto. Estas distancias y resistividades se pueden apreciar en la tabla 14.

Tabla 14

Datos de resistividad aparente

AB/2 (m)	Resistividad (Ω .m)
3	46.42
5	58.60
7	61.62
10	68.83
10	68.63
15	77.31
20	110.88
30	154.38
40	188.05
50	206.42
70	273.05
100	367.77
120	513.94
150	0.00

Nota. Resistividad obtenida en campo del SEV 05. AB/2 es la distancia en donde se colocó los electrodos

Estos datos fueron ingresados en el software IPI2WIN, el cual sirvió para la interpretación de las curvas de resistividades aparente. En la figura 30 se puede apreciar dos tipos de curvas: de coloración roja la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica coloración azul. Donde se interpreta que hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad figura 42 (Van Nostrand & Cook, 1966)

Estas 3 capas geoelectricas presentan resistividades de 70,33, 216,76 y 513,94 Ω .m respectivamente y espesores de 20, 80 y 25 metros datos que se muestran en la Tabla 9.



Figura 29. Estación SEV 05 con coordenadas N: 9200944 y E: 779124, ubicado al sur-oeste del centro poblado de Agocucho.

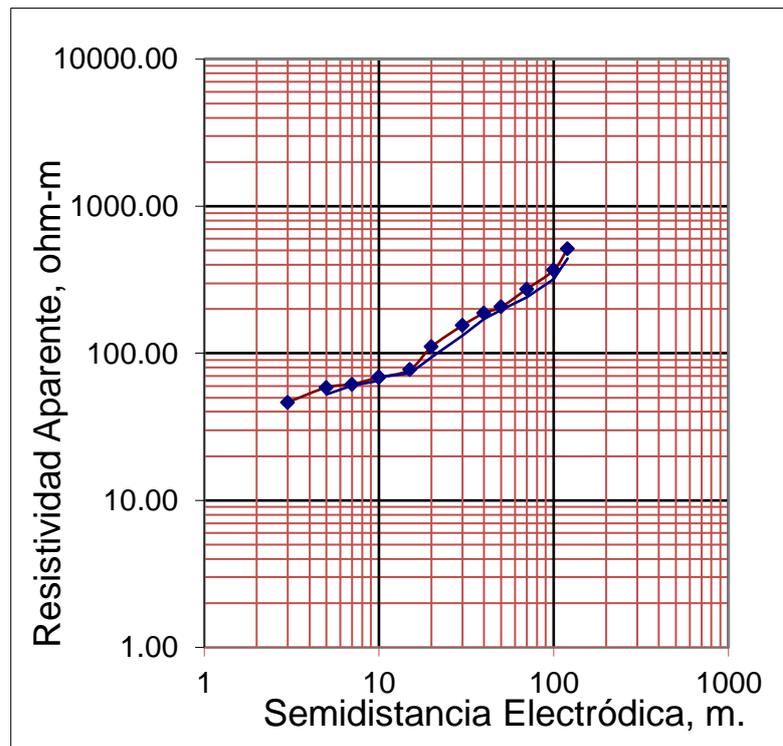


Figura 30. Curva de resistividad aparente del SEV 05, en las abscisas se muestra la distancia AB/2 de cada medida y en las ordenadas las resistividades aparentes.

➤ **SEV 06**

En la figura 31 se observa la estación 6, con sus coordenadas. Asimismo, los resultados del sondeo eléctrico 06 se obtuvieron en campo generando las curvas de resistividad aparente las cuales se obtuvieron con la distancia AB/2 de cada medida vs las resistividades aparentes de cada punto. Estas distancias y resistividades se pueden apreciar en la tabla 15.

Tabla 15

Datos de resistividad aparente

AB/2 (m)	Resistividad (Ω .m)
3	47.85
5	62.53
7	87.45
10	128.57
10	135.67
15	201.44
20	270.70
30	305.11
40	345.27
50	411.45
70	512.41
100	599.37
120	716.68
150	0.00

Nota. Resistividad obtenida en campo del SEV 06. AB/2 es la distancia en donde se colocó los electrodos

Estos datos fueron ingresados en el software IPI2WIN, el cual sirvió para la interpretación de las curvas de resistividades aparente. En la figura 32 se puede apreciar dos tipos de curvas: de coloración roja la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica coloración azul. Donde se interpreta qué hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad figura 42 (Van Nostrand & Cook, 1966)

Estas 3 capas geoelectricas presentan resistividades de 65,94, 266,45 y 609,49 Ω .m respectivamente y espesores de 7, 63 y 55 metros datos que se muestran en la Tabla 9.



Figura 31. Estación SEV 06 con coordenadas N: 9201008 y E: 779080, ubicado al sur-oeste del centro poblado de Agocucho.

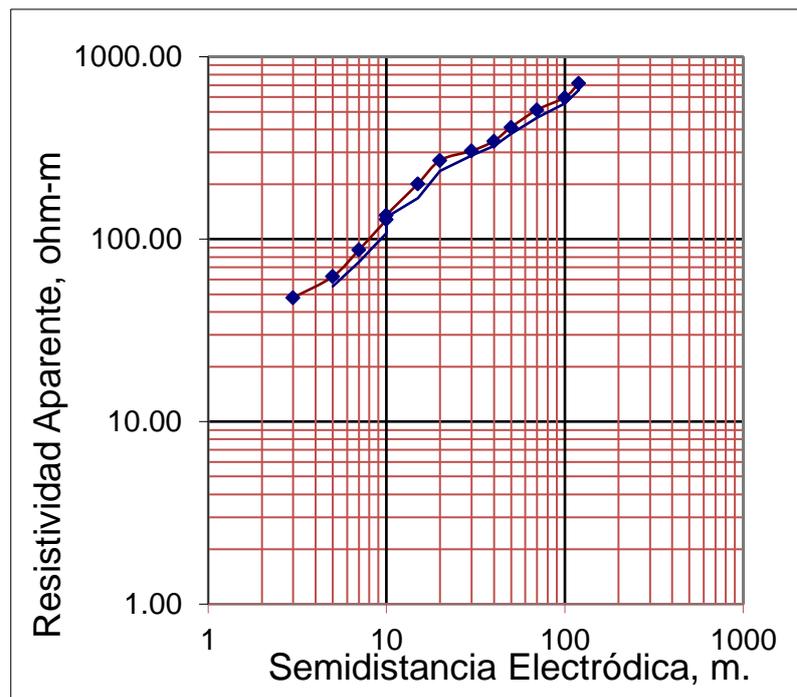


Figura 32. Curva de resistividad aparente del SEV 06, en las abscisas se muestra la distancia AB/2 de cada medida y en las ordenadas las resistividades aparentes.

➤ **SEV 07**

Los resultados del sondeo eléctrico 07 se obtuvieron en campo generando las curvas de resistividad aparente las cuales se obtuvieron con la distancia AB/2 de cada medida vs las resistividades aparentes de cada punto. Estas distancias y resistividades se pueden apreciar en la tabla 16.

Tabla 16

Datos de resistividad aparente

AB/2 (m)	Resistividad (Ω .m)
3	65.91
5	81.47
7	104.94
10	135.75
10	137.61
15	192.30
20	246.13
30	281.72
40	316.26
50	359.38
70	413.54
100	544.65
120	599.13
150	0.00

Nota. Resistividad obtenida en campo del SEV 07. AB/2 es la distancia en donde se colocó los electrodos

Estos datos fueron ingresados en el software IPI2WIN, el cual sirvió para la interpretación de las curvas de resistividades aparente. En la figura 33 se puede apreciar dos tipos de curvas: de coloración roja la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica coloración azul. Donde se interpreta qué hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad figura 42 (Van Nostrand & Cook, 1966)

Estas 3 capas geoelectricas presentan resistividades de 84,11, 260,34 y 571,89 Ω .m respectivamente y espesores de 7, 63 y 55 metros datos que se muestran en la Tabla 9.

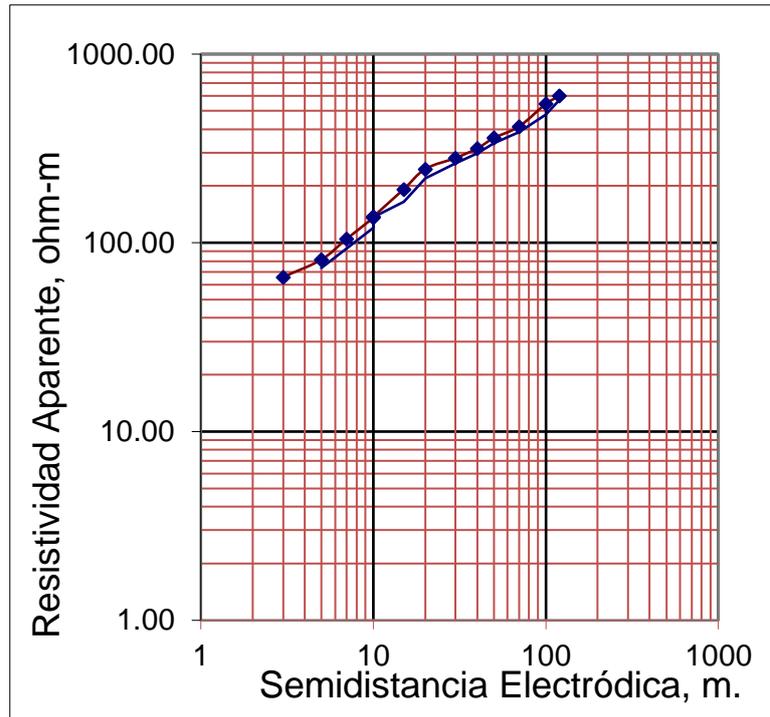


Figura 33. Curva de resistividad aparente del SEV 07, en las abscisas se muestra la distancia AB/2 de cada medida y en las ordenadas las resistividades aparentes.

Sección Geoeléctrica.

Con los datos obtenidos en cada punto de SEV, permitió diferenciar los contactos litológicos de los diferentes horizontes conformados por las resistividades verdaderas con diferentes espesores obtenidos de los Sondeos Eléctricos Verticales SEVs, se elaboró tres secciones geoeléctricas las cuales se pueden apreciar en el siguiente mapa de ubicación y sección de sondajes, cuyo análisis permitirá conocer indirectamente las características y condiciones de las diferentes capas u horizontes que conforman el subsuelo en el área investigada.

Sección geoeléctrica A–A'

En la figura 35 se presenta esta sección la cual está constituida por los SEVs N° 01, 02 y 03 los mismos que se ubican en la parte Sur Este del centro poblado de Agocucho, lugar donde se tiene pensado llevar a cabo una captación hidrogeológica.

En esta sección del subsuelo se diferenciaron tres horizontes cuyas características y condiciones se describen a continuación:

Primer Horizonte (H1)

Conformado por dos a tres capas geoelectricas de igual o similar granulometría sus valores de resistividad varían de 66,14 a 72,51 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 03 y la mayor en el SEV 01 presenta un espesor que oscila entre los 15 metros.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales, este horizonte se relaciona con arenas y gravas. La composición litológica de este horizonte es variable ya que presenta material suelto y suelo residual.

Segundo Horizonte (H2)

Está conformado por una capa geoelectrica con diferente espesor, el mismo que varía de 23,00 a 55,00 metros presenta una resistividad eléctrica entre 187,03 a 302,83 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 03 y la mayor en el SEV 02; presenta una permeabilidad Media – Alta.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales esta se relaciona con arenas y gravas con agua dulce. Esta estructura geológicamente se encuentra compuesta por materiales no consolidados de origen aluvial, la cual corresponde a los depósitos aluviales; se encuentra en un estado parcialmente saturado constituyendo el potencial acuífero.

Tercer Horizonte H3

Está conformado por una capa geoelectrica con una resistividad de 748,09 a 895,30 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 03 y la mayor en el SEV 02 con un espesor más

potente que los dos horizontes anteriores determinados por los puntos SEV, el mismo que varía de 50.00 a 95.00 metros y presenta una permeabilidad muy baja.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales, este horizonte se relaciona con areniscas cuarzosas. Esta estructura geológicamente se relaciona a la formación Chimú.

SECCIÓN ELÉCTRICA A-A'

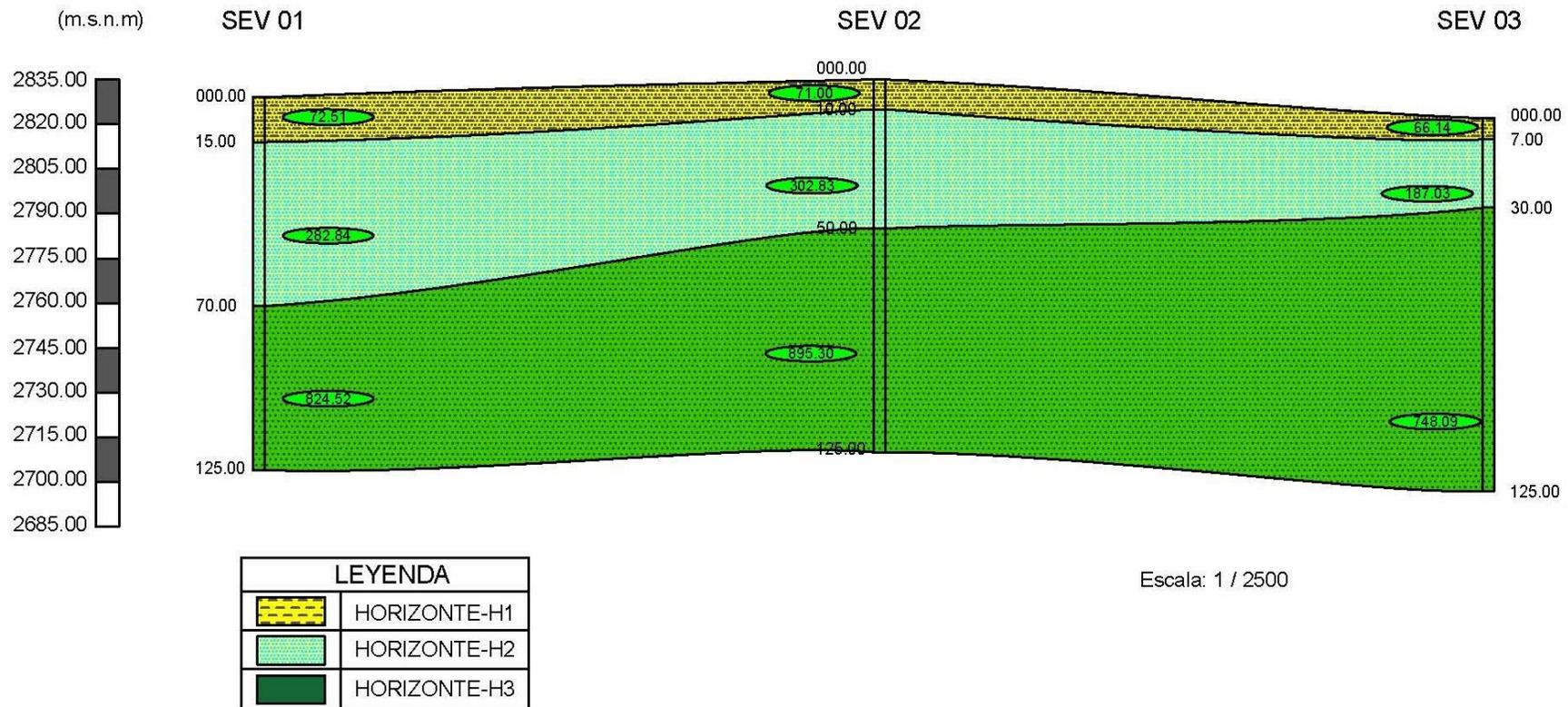


Figura 34. Sección A-A', conformada por los SEV 01, 02 y 03

Sección geoelectrica B–B'

En la figura 35 se presenta esta sección la cual está constituida por los SEVs N° 04, 05 y 06, los mismos que están ubicados con un alineamiento de Suroeste a Noreste

Esta sección del subsuelo se ha diferenciado tres horizontes cuyas características y condiciones se describen a continuación:

Primer Horizonte H1

Conformado por dos a tres capas geoelectricas de igual o similar granulometría sus valores de resistividad varían de 68,33 a 70,33 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 06 y la mayor en el SEV 05 presenta un espesor de 15 metros aproximadamente.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales, este horizonte se relaciona con arenas y gravas. La composición litológica de este horizonte es variable ya que presenta material suelto y suelo residual.

Segundo Horizonte H2

Está conformado por una capa geoelectrica con diferente espesor, el mismo que varía de 63,00 a 85,00 metros presenta una resistividad eléctrica entre 216,00 a 266,45 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 05 y la mayor en el SEV 06; presenta una permeabilidad Media – Alta.

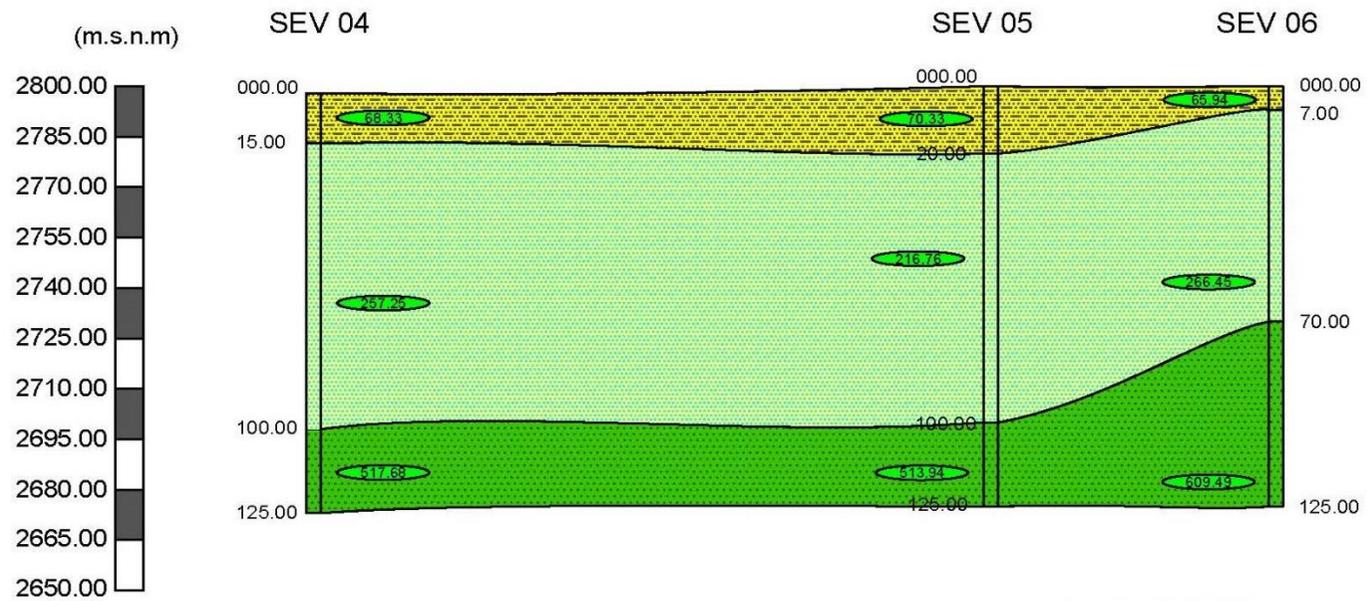
De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales esta se relaciona con arenas y gravas con agua dulce. Esta estructura geológicamente se encuentra compuesta por materiales no consolidados de origen aluvial, la cual corresponde a los depósitos aluviales; se encuentra en un estado parcialmente saturado constituyendo el potencial acuífero.

Tercer Horizonte H3

Está conformado por una capa geoelectrica con una resistividad de 513,94 a 609,49 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 05 y la mayor en el SEV 06 con un espesor más potente que los dos horizontes anteriores determinados por los puntos SEV, el mismo que varía de 25,00 a 55,00 metros y presenta una permeabilidad muy baja.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales, este horizonte se relaciona con areniscas cuarzosas. Esta estructura geológicamente se relaciona a la formación Chimú.

SECCIÓN ELÉCTRICA B-B'



Escala: 1 / 2500

LEYENDA	
	HORIZONTE-H1
	HORIZONTE-H2
	HORIZONTE-H3

Figura 35. Sección B-B', conformada por los SEV 04, 05 y 06

Sección geoelectrica C-C'

En la figura 36 se presenta esta sección la cual está constituida por los SEVs N° 02, 04 y 07 los mismos que están ubicados con un alineamiento de Sureste a Noroeste

Esta sección del subsuelo se ha diferenciado tres horizontes cuyas características y condiciones se describen a continuación:

Primer Horizonte H1

Conformado por dos a tres capas geoelectricas de igual o similar granulometría sus valores de resistividad varían de 68,33 a 84 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 04 y la mayor en el SEV 07 presenta un espesor de 15 metros aproximadamente.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales, este horizonte se relaciona con arenas y gravas. La composición litológica de este horizonte es variable ya que presenta material suelto y suelo residual.

Segundo Horizonte H 2

Está conformado por una capa geoelectrica con diferente espesor, el mismo que varía de 40,00 a 85,00 metros presenta una resistividad eléctrica entre 257,25 a 302,83 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 04 y la mayor en el SEV 02; presenta una permeabilidad Media – Alta.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales esta se relaciona con arenas y gravas con agua dulce. Esta estructura geológicamente se encuentra compuesta por materiales no consolidados de origen aluvial, la cual corresponde a los

depósitos aluviales; se encuentra en un estado parcialmente saturado constituyendo el potencial acuífero.

Tercer Horizonte H3

Está conformado por una capa geoelectrica con una resistividad de 517,68 a 895,30 Ω .m, la menor resistividad se registró en el SEV 04 y la mayor en el SEV 02 con un espesor más potente que los dos horizontes anteriores determinados por los puntos SEV, el mismo que varía de 25,00 a 75,00 metros y presenta una permeabilidad muy baja.

De acuerdo a las resistividades obtenidas y la tabla 17 de resistividades de materiales, este horizonte se relaciona con areniscas cuarzosas. Esta estructura geológicamente se relaciona a la formación Chimú.

Tabla 17

Resistividad de materiales

Tipos de Agua y Roca	Resistividad(Ohm-m)
Agua de mar	0,2
Agua de acuíferos aluviales	10 – 30
Agua de manantiales	50 – 100
Arenas y gravas secas	1 000 – 10 000
Arenas y gravas con agua dulce	50 – 500
Arenas y gravas con agua salada	0,5 – 5
Arcillas	2 – 20
Margas	20 – 100
Calizas	300 – 10 000
Areniscas arcillosas	50 – 300
Areniscas cuarcíticas	300 – 10 000
Cineritas, tobas volcánicas	20 – 100
Lavas	300 – 10 000

Esquistos grafitosos.	0,5 – 5
Esquistos arcillosos o alterados.	100 – 300
Esquistos sanos	300 – 3 000
Gneis, granito alterados	100 – 1 000
Gneis, granito sano	1 000 – 10 000

Nota. Valores de resistividad de los sondeos eléctricos verticales para cada material

Mapa de Resistividad Verdadera del Horizonte Productivo

El presente mapa nos muestra las variaciones de la granulometría y permeabilidad de los diferentes puntos en investigación ubicados en el área de estudio los mismos que presentan rangos de resistividad de 216,76 Ω .m, capa conformada por a clastos de mediana permeabilidad las mismas que estarían conformando el acuífero productivo con presencia de poca mineralización, correspondiente al sondaje 5.

Mapa de Espesores del Horizonte Productivo

Este mapa nos muestra las variaciones de los espesores, del horizonte aprovechable es decir es la parte más importante del acuífero el mismo que nos permitirá recomendar pozos de exploración-explotación, con profundidades que atraviesen todo el horizonte aprovechable. Para la elaboración de esta carta se ha considerado los espesores del horizonte aprovechable mayormente que correspondan al acuífero productivo cuyos valores promedio son de 80.00 metros.

Mapa del Techo del Basamento rocoso impermeable

Para este mapa se ha inferido algunos valores de los SEV, las mismas que muestra las variaciones a partir de la cota superficial hasta el techo del impermeable rocoso, la profundidad nos indican las zonas donde los pozos, pueden ser más profundos por lo consiguiente ser menos afectados por las variaciones en el nivel dinámico.

La mayor profundidad se puede apreciar en dirección al SEV N° 06, 05 y 04, disminuyendo en dirección al SEV 07.

Modelo Geológico-Hidrogeológico

Como se puede observar en la figura 37 con los datos obtenidos de resistividad y espesor se simuló un modelo geológico-hidrogeológico en el software Leapfrog, identificando el acuífero en los depósitos aluviales.

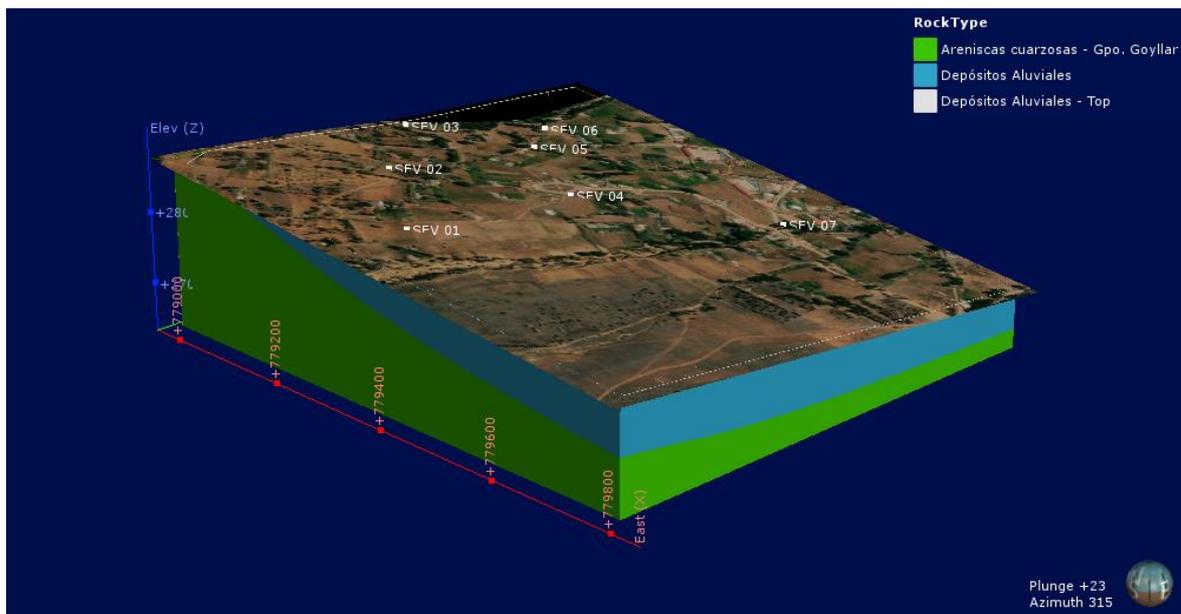


Figura 37. Modelo geológico-hidrogeológico.

En la figura 38 se observa el perfil geológico NE-SW, donde se identificó el acuífero en el horizonte 2 conformado por arenas, gravas, limos y arcillas correspondientes a los depósitos aluviales, a lo largo de la sección el espesor varía entre 15m a 85m debido que el terreno no es homogéneo y presenta una pendiente entre 8°-25°.

Perfil geológico NE-SW

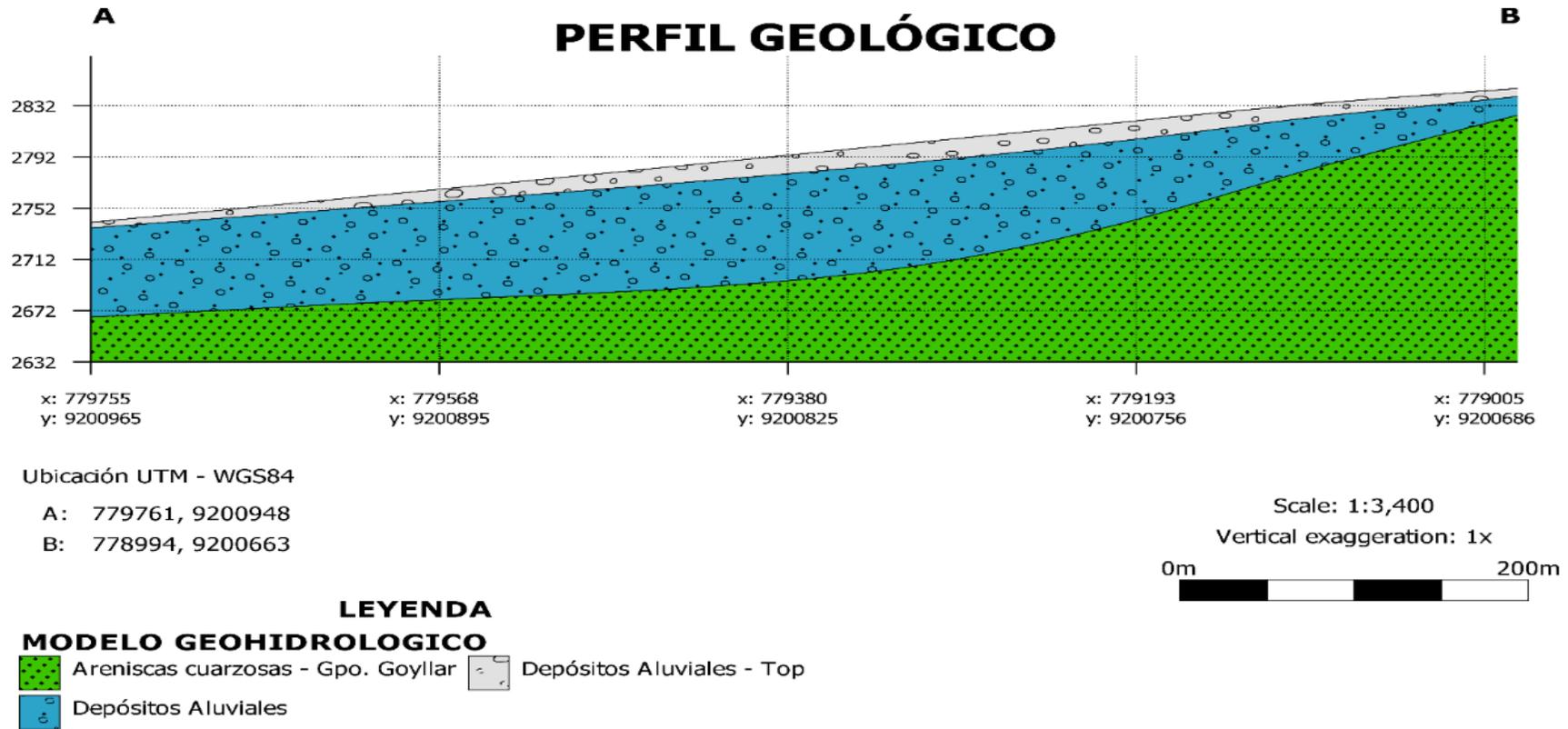


Figura 38. Perfil geológico de la zona de estudio

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El centro poblado de Agocucho presenta condiciones hidrogeológicas debido a la recarga en la parte superior de la zona. La interpretación de los 7 SEVs aplicada en la zona de estudio revela la presencia de formaciones no homogéneas que consiste principalmente en una secuencia de suelo y roca con diferentes resistividades y espesores, teniendo 3 capas geoelectricas. La primera y segunda capa forman parte de los depósitos aluviales, los cuales consisten en arenas, limos y gravas. La tercera capa está compuesta por rocas fresca.

En el presente estudio se localizó el potencial acuífero en el segundo horizonte conformado por materiales no consolidados como arenas y gravas formando los depósitos aluviales de la zona mientras que en el estudio de Mendoza (2012) presenta cuatro horizontes y el segundo horizonte se encuentra conformado por un horizonte rocoso fracturado (tobas volcánicas) y un lente constituido por material suelto como aluvial el cual representa el acuífero. Por otro lado, en la investigación de Alarcón (2016) muestra 3 secciones con 4 horizontes, en la sección A-A' se encuentra tufos volcánicos en estado húmedo y en las secciones B-B' y C-C' el acuífero se encuentra en materiales sedimentarios. De acuerdo a los antecedentes encontrados, se contrasta que los materiales sedimentarios como los depósitos aluviales conformados por gravas, arenas y arcillas presentan acuíferos con gran potencial, siendo de gran interés para obtener mayor cantidad de agua

En un estudio reciente en la ciudad Cañete-Lima realizo por Castillo (2017) utilizando los sondeos eléctricos identificó una capa húmeda a partir de los 24 y 28 metros de profundidad, asociados a un material areno-arcilloso. El cual guarda

relación con este estudio ya que se encuentra una capa humedad a partir de los 15 y 20 metros de profundidad, asociado a materiales aluviales.

Según Auge (2008) 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. Además del grado de saturación también incide en la resistividad del medio, el contenido salino del agua; a mayor salinidad, menor resistividad y viceversa. Los contrastes en las resistividades son los que permiten aplicar exitosamente los métodos de prospección geoelectrica mediante la inyección de corrientes continuas (p.3).

Según Singhal & Gupta (2010), manifiesta que muchos de los sedimentos no consolidados fueron depositados durante los últimos millones de años pertenecientes al periodo Cuaternario. Estos han sido formados bajo diferentes ambientes sedimentarios. Los sedimentos de grano grueso (gravas y arenas) forman acuíferos potenciales debido a su alta conductividad hidráulica y almacenamiento (p.291).

Asimismo, Tucker (2001), indica que estudios de textura sedimentaria implica consideraciones de tamaño de grano y parámetros de tamaño de grano, morfología de grano, textura de superficie de grano y fábrica del sedimento (p. 11).

Por otro lado, según Carlotto y Peña (2012) los depósitos cuaternarios constituyen un acuífero poroso no consolidados con un pesor de 25 a 40 metros lo que se contrasta en este estudio en la presencia del acuífero en los depósitos aluviales

Contrastación de la hipótesis

Se comprobó que utilizando adecuadamente los sondeos eléctricos verticales se pudo obtener los datos necesarios para poder identificar el potencial acuífero, además considerando las características geológicas, la generación se perfiles permiten contrastar la hipótesis.

.

Limitaciones

Los vehículos no tenían vías de accesos a los puntos de muestreo, ya que parte del equipo requería un transporte especial, además de presentar abundancia de vegetación lo que dificultaba el cartografiado. Existen pocas investigaciones relacionados al tema.

4.2 Conclusiones

Se determinó 3 horizontes bien definidos H1, H2 y H3 con características diferentes de resistividades y espesores.

El horizonte H1, presenta un espesor promedio de 15,00 m. con resistividades entre 65,94 a 84,10 Ω .m. Litológicamente está constituida por arenas y gravas, además se encuentra en estado húmedo

En cuanto al horizonte H2, presenta alta resistividad de 187,03 a 302,83 Ω .m con un espesor de 23,00 a 80,00 metros de espesor, litológicamente está representado por materiales no consolidados con una permeabilidad media a alta, encontrándose en estado parcialmente saturado y vendría a conformar el acuífero productivo.

En el horizonte H3, se presenta alta resistividad de 513,94 a 895,30 Ω .m con un espesor de 25,00 a 95,00 m. Litológicamente está representado por areniscas cuarzosa.

El potencial acuífero se encontró en el horizonte 2 conformando los depósitos aluviales el cual presenta mayor potencia y mejores resistividades, a través de el se puede diseñar obras de captación subterránea.

Con los datos obtenidos del SEV se elaboró el modelo hidrogeológico y el perfil geológico para identificar el acuífero en los depósitos aluviales.

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

4.3 Recomendaciones

Realizar otros métodos geofísicos con técnicas electromagnéticas, sísmica de refracción e inducción polarizada para tener una mayor precisión del acuífero.

Realizar una campaña de sondeos eléctricos verticales en la zona de Agocucho abarcando mayor terreno, con el objetivo de tener un mejor modelo de la geometría del acuífero, aumentando la distancia AB para obtener mayor información a profundidad.

Las mejores condiciones para el diseño de una obra de captación de aguas subterráneas (pozos), se aprecia en el Sondeo Eléctrico Vertical N° 5.

La profundidad recomendada para la perforación de un pozo de exploración-explotación de la fuente de agua subterránea (pozo) es de 100.00 m., el nivel del agua se encuentra aproximadamente a los 30 metros.

El pozo podrá ser perforado con diámetro de 18 pulgadas, y entubado entre 10” de diámetro.

REFERENCIAS

- Alabi, A., Bello, R., Ogungbe, A., & Oyerinde, H. (2010). Determination of ground water potential in Lago State University, (Singhal & Gupta, 2010)Ojo; using geoelectric methods (Vertical electrical sounding and horizontal profiling)
- Alarcón, V., (2016). Identificación de la estructura acuífera en la zona de Pampas “La Estrella” mediante sondeos eléctricos verticales, distrito de Uchumayo, provincia de Arequipa. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Arredondo, R., (2015). Estudio de sondajes eléctricos verticales y evaluación hidrogeológica de los manantiales e n la Quebrada de Tasata, distrito de Polobaya- Región Arequipa. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Auge, M. (2008). *Métodos Geolétricos para la Prospección de Agua Subterránea* . Buenos Aires .
- Coker, J. (2012). Vertical electrical sounding (VES) methods to delineate potential groundwater aquifers in Akobo area, Ibadan, South-western, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, 35-42.
- Castillo, V., (2017). Estudio geofísico para la exploración de agua subterránea en el fundo Buselcat Asia-Cañete, Lima. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Fetter, G. (2001). *Applied Hydrogeology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hedberg, H. (1980). *Guía Estratigráfica Internacional* . Barcelona: Reverté.
- Hiscock, K. M., & Bense, V. F. (2014). *Hydrogeology: Principles and Practice*. WILEY Blackwell.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. Oxford : Blackwell Science.
- Komen, C., (2011). Groundwater investigation and characterisation in Marigat Area, Baringo County, using vertical electrical sounding resistivity survey. (Tesis de maestría).Kenyatta University, Kenya.

- Lubis, R. F. (2017). Urban hydrogeology in Indonesia: A highlight from Jakarta. *Earth and Environmental Science* .
- Maliva R. (2016). *Aquifer characterization Techniques*. Springer
- Mantilla, H. R. (2005). *Geología General*. Lima.
- Mendoza, A., (2012). Estudio geológico e hidrogeológico y aplicaciones del SEV para la determinación de acuíferos en el centro poblado La Ramada- Subcuenca Porcón. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Milsom, J. (2003). *Field Geophysics* . Willey
- Muñoz, J., (2005). Caracterización hidrogeológica del acuífero de la aldea (Gran Canaria). (Tesis doctoral). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Raghunath, H. (2006). *Hydrology*. New age international limited, publishers
- Rodríguez, G., (2015). Prospección geofísica para la determinación de agua subterránea en el campus universitario Mapasingue, Cantón Guayaquil, provincia de Guayas, Ecuador. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Sánchez, I. (2012). *La diversidad biológica en Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Singhal, B., & Gupta, R. (2010). *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Springer.
- Song, L., Zhu, J., Yan, Q., & Kang, H. (2012). Estimation of groundwater leveles with vertical electrical sounding in the semiarid area of South Keerqin sandy aquifer, China. *Journal of Applied Geophysics*, 11-18.
- Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Vázquez, E., Sánchez, X., & Carrera, J. (2005). Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain. *Hydrogeology Journal*, 522-533.
- Weight, W. (2008). *Hydrogeology Field Manual*. Montana : McGraw-Hill.

ANEXOS

ANEXO n.º 1 . Prospección geofísica

PROSPECCION GEOFISICA						
NORTE:			SONDAJE:			
ESTE:			LUGAR:			
COTA:			FECHA:			
AB/2	MN/2	V	R	PS	I	NP
3	1					
5	1					
7	1					
10	1					
10	2.5					
15	2.5					
20	2.5					
30	2.5					
40	2.5					
50	2.5					
70	10					
100	10					
125	10					
150	35					

PROSPECCION GEOFISICA						
NORTE:	9200854		SONDAJE:	SEV L		
ESTE:	779280		LUGAR:			
COTA:	2998		FECHA:			
AB/2	MN/2	V	R	PS	I	NP
3	1	14 V	3.6 Ω	-46.3 mV	396.6 mA	989
5	1	426.4 mV	1.3 Ω	-10.9 mV	318.4 mA	990
7	1	162.6	662.5	7.2	243.1	991
10	1	55.8 mV	333.7 mΩ	6.5 mV	167.2	992
10	2.5	101.6 mV	1.6 Ω	-57.4	168.2	993
15	2.5	57.5 mV	560.3 mΩ	-59.5 mV	102.6 mA	994
20	2.5	43.3 mV	242.8	-65.3	54.8	995
30	2.5	34.7 mV	147 mΩ	67.8	236. mA	996
40	2.5	63.2 mV	86.4 mΩ	76 mV	162.6 mA	997
50	2.5	10.3 mV	59.2 mΩ	-73.4 mV	174.2 mA	998
70	10	11.1	116.7	44.5 mV	95.3	999
100	10	16 mV	91.3 mΩ	30.8 mV	121 mA	1000
125	10	33	77.5	28.1	425.4 mA	1001
150	35					

PROSPECCION GEOFISICA						
NORTE:	9200565		SONDAJE:	SEV 02		
ESTE:	779290		LUGAR:			
COTA:	2829		FECHA:			
AB/2	MN/2	V	R	PS	I	NP
3	1	804.2 mV	9.4 mΩ	13.4 mV	85.3 mA	1002
5	1	316.2	2.8	-3.3	113.7 mA	1003
7	1	59.3	940.3	-907.6 mV	63. mA	1004
10	1	38.9	503.8 mΩ	-6.9 mV	77.1 mA	1005
10	2.5	96.5	1.2	5.6	79.	1006
15	2.5	59.9	644.4	6.3	92.9 mA	1007
20	2.5	43.5	456.6	5.1	95.4	1008
30	2.5	63.3	239.3	4.7	55.5	1009
40	2.5	24.2	184.3	3.9	136.1	1010
50	2.5	6.6 mV	114.2	3.6	53.7	1011
70	10	22.5	306.5	-9 mV	73.5	1012
100	10	44.7	220.1	-60.5	202.9	1013
125	10	33	171 mΩ	6.9 mV	92.8	1014
150	35					

SEV 07 779489 / 920052 / 2757

PROSPECCION GEOFISICA						
NORTE:	9200086		SONDAJE:	SEV 03 -> CA - SEV 03		
ESTE:	779118		LUGAR:	Cayanchaca		
COTA:	2835		FECHA:			
AB/2	MN/2	V	R	PS	I	NP
3	1	1.5V	11.1Ω	22.4mV	139. mA	1015
5	1	294.5	35.4	32.6	95.4	1016
7	1	192.5	1.5Ω	49.1	130.7	1017
10	1	44.8	675mV	42. mV	66.3mA	1019
10	2,5	121.3mV	1.8Ω	15.1mV	67.5mA	1019
15	2,5	81.9mV	814.1mV	19.6mV	100.6mA	1020
20	2,5	82. mV	511.7 mV	18.2mV	160.2mA	1021
30	2,5	14.5mV	234.2mV	16.1mV	62 mA	1022
40	2,5	8.2mV	148.9mV	17.1mV	55.1mA	1023
50	2,5	15mV	177.5mV	17.4 mV	127.8mA	1024
70	10	73.7mV	261.4mV	-50mV	281.9mA	1025
100	10	23.7mV	148.3mV	-52.2mV	159.6mA	1026
125	10					
150	35					

PROSPECCION GEOFISICA						
NORTE:	9200039		SONDAJE:	SEV 04		
ESTE:	778980		LUGAR:			
COTA:	2822		FECHA:			
AB/2	MN/2	V	R	PS	I	NP
3	1	3V	8Ω	14mV	376.8mA	1027
5	1	1.3V	3.7Ω	6.2mV	347.3	1028
7	1	906.3mV	2.3Ω	11.1	433.5	1029
10	1	377.1	1.3Ω	-600.9μV	295.4	1030
10	2,5	1.6V	3.9Ω	-17mV	406.4	1031
15	2,5	476.5mV	1.9	-12.3	234.7	1032
20	2,5	195.1	1Ω	10.2	691 mA	1033
30	2,5	295.7	482.1	11.7	530.3	1034
40	2,5	35.8	236.9	14	151.3	1035
50	2,5	15.2	131.5	-93.3	115.5	1036
70	10	64.5	277.7mV	-21.4mV	232.2mA	1037
100	10	16.7	105.1	-20.7	158.4	1038
125	10	5.2	504	-20.5	103.9	1039
150	35					

PROSPECCION GEOFISICA						
NORTE:	9201008		SONDAJE:	SEV 06		
ESTE:	779080		LUGAR:			
COTA:	2800		FECHA:			
AB/2	MN/2	V	R	PS	I	NP
3	1	2.3 V	44.5 Ω	131.6	201.6	1040
5	1	426.9 mV	4.4 Ω	-6.8 mV	96 mA	1041
7	1	254.3 mV	2.5 Ω	2.2 mV	101.1 mA	1042
10	1	133.5 mV	1.5 Ω	-9.6 mV	91.6 mA	1043
10	2.5	440.9 mV	4.7 Ω	-7 mV	94.4 mA	1044
15	2.5	400.4 mV	2.7 Ω	-6.7 mV	143 mA	1045
20	2.5	206.4 mV	1.6 Ω	-26.1	129.7 mA	1046
30	2.5	49.3 mV	535.4	-30.3	92.1	1047
40	2.5	12.4 mV	202.5 mV	-28.6	61	1048
50	2.5	18.2 mV	105.2 mV	-30.6 mV	172.6 mA	1049
70	10	36.7 mV	108.8	-73.2	188 mA	1050
100	10	23.2 mV	84.6 mV	-82 mV	273.8 mA	1051
125	10					
150	35					

PROSPECCION GEOFISICA						
NORTE:	9200944		SONDAJE:			
ESTE:	779124		LUGAR:			
COTA:	2800		FECHA:			
AB/2	MN/2	V	R	PS	I	NP
3	1	297.3 mV	10.5 Ω	44.4 mV	27.4	1052
5	1					1053
7	1	47 mV	993.4	32.1	47 mA	1054
10	1	12.6	333.8	28.3	37.6	1055
10	2.5	38.1	993.4	-22.1	38.4	1056
15	2.5	17.2	314.8	-20.3	54.5	1057
20	2.5	5.1 mV	125.7	-20	40.5	1058
30	2.5	0.9 mV	51.7	-20.8	132.5	1059
40	2.5	1.2 mV	22.1	-22.4	52.5	1060
50	2.5	4.	18.3	-23.3	219.2	1061
70	10	1.5	30. mV	21.6	49.5	1062
100	10	2.4 mV	18.3	19.6 mV	128.5	1063
125	10					
150	35					

ANEXO n.º2 . Material adicional de la investigación



Figura 39. Interacción con los pobladores de la zona de Agocucho para llevar acabo el estudio de investigación



Figura 40. Método indirecto para captación de agua subterránea, usando varillas de cobre.



Figura 41. Pozo artesanal realizado por los pobladores de Agocucho.

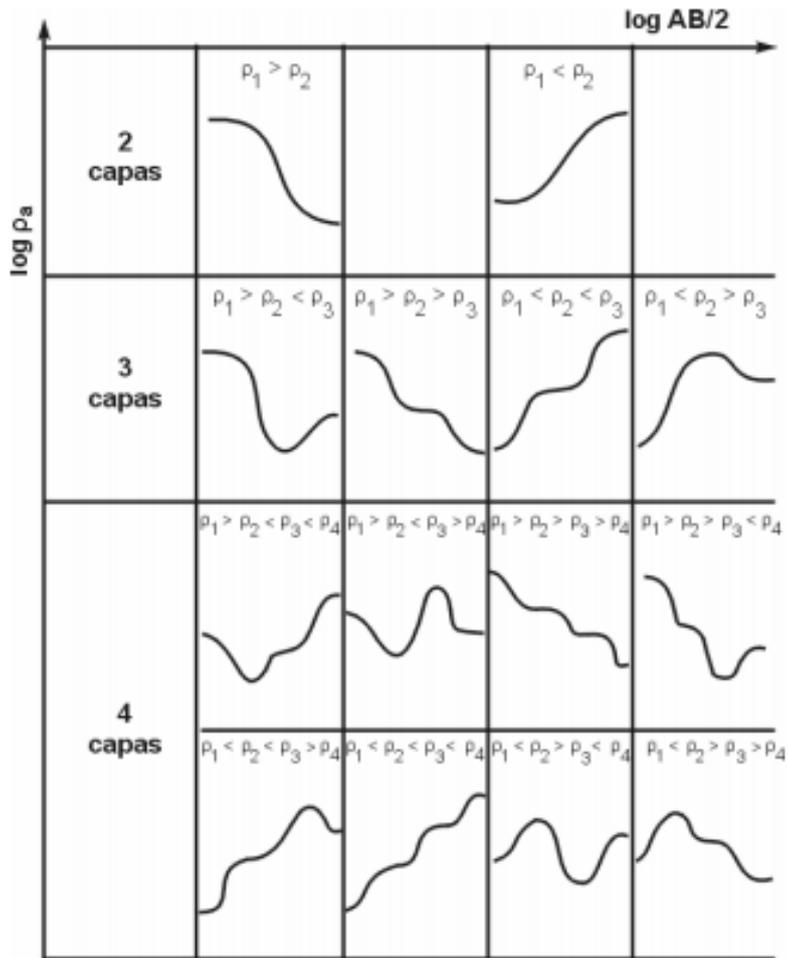


Figura 42. Curvas de resistividades aparentes para 2, 3 y 4 capas (Auge , 2008)