

Aquifer potential through vertical electrical sounding (SEV) of lithostratigraphic units, Agocucho-Cajamarca 2019

Alexis Paredes, Ing.¹, Daniel Alva, Ing.¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. alexisv.paredes@gmail.com

Abstract– The aim of the study was to determine the aquifer potential of lithostratigraphic units in Agocucho, Cajamarca, using the vertical electric sounding method (SEV). The SEV was applied using the Schlumberger configuration to determine the resistivity and delineate the aquifer that will allow the extraction of groundwater in the wells. SEV 7 was carried out in the study area, the data obtained were analyzed using the IPI2WIN software where 3 geoelectric layers were identified. The potential of the aquifer is in geoelectric layer 2 with a resistivity of 216 $\Omega.m$ to 302.83 $\Omega.m$ at surface depths between 25m to 85m, correlating it with local geology as alluvial deposits.

Key words: *Aquifer, lithostratigraphic, vertical electric sounding.*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.478>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Potencial acuífero usando sondeo eléctrico vertical (SEV) en unidades litoestratigráficas, Agocucho-Cajamarca 2019

Alexis Paredes, ing.¹, Daniel Alva, ing.¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. alexisv.paredes@gmail.com

Resumen— El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial acuífero de las unidades litoestratigráficas en Agocucho, Cajamarca, usando el método de sondeos eléctricos verticales (SEV). El SEV se aplicó utilizando la configuración Schlumberger para determinar la resistividad y delinear el acuífero que permitirá realizar pozos para la extracción de agua subterránea. 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. El potencial acuífero se encuentra en la capa geoelectrica 2 con resistividad de 216 $\Omega.m$ a 302,83 $\Omega.m$ a profundidades superficiales entre los 25m a 85m, correlacionándolo con la geología local como depósitos aluviales.

Palabras clave: Acuífero, litoestratigráfica, sondeo eléctrico vertical.

I. INTRODUCCIÓN

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 [1]

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 [2], 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 [3].

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 eléctricos verticales (SEV) o también conocido como "perforación eléctrica" o "sonda de expansión", que 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. [4]

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 [5]

En los últimos años ha disminuido las precipitaciones fluviales, producto del cambio climático, aumentando la necesidad y la utilización de los recursos hídricos [6]. El centro poblado de Agocucho presenta escasez de suministro de agua, por ello muestra un gran interés como zona de investigación.

Los métodos de prospección eléctrica de superficie se han venido utilizando, para solucionar los problemas en la investigación de aguas subterráneas, la aplicación de estos métodos se basa en la medición de la resistividad eléctrica del subsuelo [7]. La mayor parte de las rocas que componen la porción más superficial de la corteza, están meteorizadas en mayor o menor medida y poseen fisuras o poros, en los que en general se encuentra un cierto contenido de humedad. El agua contenida en los poros posee sales disueltas, que contribuyen a aumentar la capacidad de conducir la corriente eléctrica [8]. El área de estudio está compuesta por depósitos cuaternarios coluvio-aluviales constituidos principalmente por gravas, arenas, limos; donde se encuentra agua subterránea que actualmente no ha sido evaluada ni cubcada en su potencial real. La aplicación del método Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) sobre los depósitos cuaternarios muestran una primera aproximación de la presencia y potencialidad del acuífero en la zona de investigación. En tal sentido el objetivo del estudio fue determinar el potencial acuífero de las unidades litoestratigráficas en Agocucho usando el método de sondeos eléctricos verticales (SEV)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Cartografiado geológico

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 sondajes eléctricos verticales

B. Distribución de los puntos SEV

Se aplicó 7 puntos de sondeos eléctricos verticales, donde se interpretó en qué horizonte se encuentra el posible acuífero, y mediante las resistividades se identificó qué formaciones se encuentran en el subsuelo en forma indirecta.

El equipo contó con un resistímetro transmisor-receptor marca PASI de procedencia italiana; 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, entre otros accesorios

El proceso de toma de datos se inicia con la instalación del resistímetro transmisor-receptor, 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

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.498>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

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 m.

C. Procesamiento en softwares especializados

La información obtenida se procesó en los softwares IPI2WIN, Geosoft, ArcGIS y AutoCAD, los cuales sirvieron para realizar los perfiles geoelectricos. A partir de estos perfiles se elaboró un modelo geológico con el programa Leapfrog, identificando en que unidad litoestratigrafica se ubica el acuífero.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. RESISTIVIDAD, ESPESOR Y DISTANCIA

En la Tabla 1, donde se muestran los valores de resistividades eléctricas y espesores de las diferentes capas que conforman el relleno estratigráfico de esta área de estudio.

TABLA 1
 RESISTIVIDAD, ESPESOR Y DISTANCIA DE LOS SEV

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

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

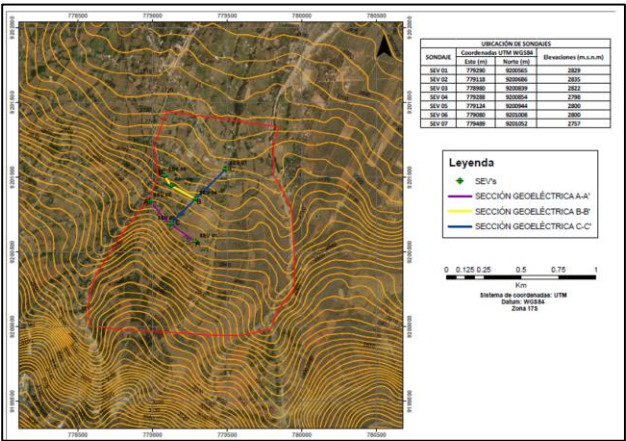


Figura 1. Ubicación de las SEV

En la Figura 2 se muestran las curvas de resistividad aparente de las 7 estaciones SEV, donde se puede apreciar dos tipos de curvas: de color rojo la curva de resistividad aparente la cual se ajustó con la curva teórica de color azul. Donde se interpreta qué hay la presencia 3 capas geoelectricas debido a que la resistividad va aumentando con la profundidad.

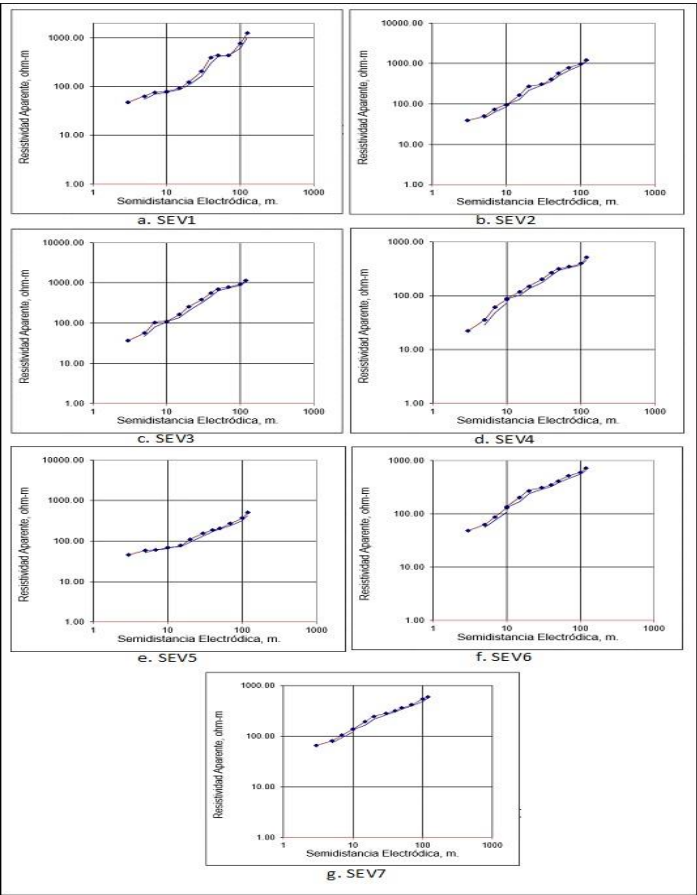


Figura 2. Curvas de resistividad aparente de las 7 SEV, en color rojo la curva de resistividad, y en color azul la curva teórica.

Para un tipo de terreno determinado, su resistividad puede verse afectada por diversos factores como son la humedad, temperatura, compactación del suelo, concentración de sales disueltas [9], con los datos obtenidos en cada punto de SEV, se logró diferenciar los contactos litológicos de los diferentes horizontes conformados por las resistividades verdaderas con diferentes espesores obtenidos de los Sondeos Eléctricos Verticales SEVs.

En la Figura 3 se muestran las secciones geoelectricas a partir de los datos obtenidos.

La sección geoelectrica A-A' se encuentra constituida por los SEVs 01,02 y 03 ubicados al sur-este de Agocucho, en donde presenta 3 horizontes con diferentes espesores debido a la topografía del área, presentando un mayor espesor en el horizonte 3 el cual se relaciona con arenisca cuarzosa de la formación Chimú.

La sección geoelectrica B-B' está constituida por los SEVs 04,05 y 06 ubicados con un alineamiento de Suroeste a Noreste, presenta un mayor espesor en el horizonte 2 el cual se encuentra compuesta por materiales no consolidados de origen aluvial, el cual corresponde a los depósitos aluviales del cuaternario.

La sección geoelectrica C-C' constituida por los SEVs 02, 04 y 07 ubicados con un alineamiento de Sureste a Noreste, al igual que en la sección B-B' presenta un mayor espesor en el horizonte 2.

En las tres secciones geoelectricas se determinaron 3 horizontes bien definidos H1, H2 y H3 con características diferentes de resistividades y espesores:

El horizonte H1, presenta un espesor promedio de 15 m. con resistividades entre 65,94 a 84,10 $\Omega.m$. 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 $\Omega.m$ con un espesor de 23 m a 80 m 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 $\Omega.m$ con un espesor de 25 m a 95 m. Litológicamente está representado por areniscas cuarzosa.

El centro poblado de Agocucho presenta condiciones hidrogeológicas favorables 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 los horizontes 1 y 2 respectivamente las cuales forman parte de los

depósitos aluviales, los cuales consisten en arenas, limos y gravas. La tercera capa corresponde al horizonte 3 la cual está compuesta por rocas fresca.

Mendoza [10] identificó un horizonte rocoso fracturado (tobas volcánicas) y un lente constituido por material suelto como aluvial el cual representa el acuífero, en la presente investigación, el potencial acuífero se encontró en el horizonte 2 conformado por materiales no consolidados como arenas y gravas formando los depósitos aluviales de la A través de él se puede diseñar obras de captación subterránea.

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 m., el nivel del agua se encuentra aproximadamente a los 30 m.

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

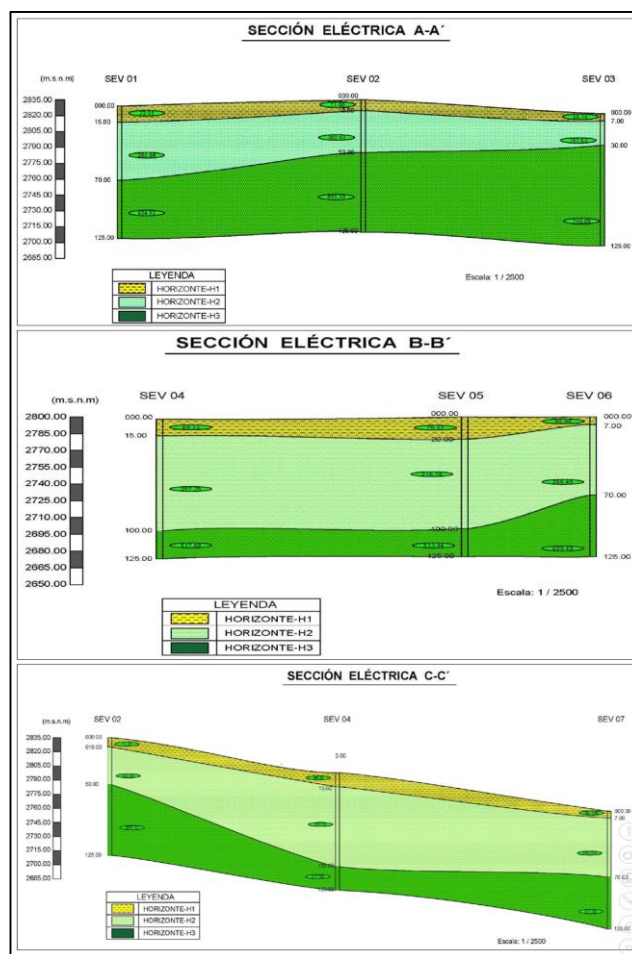


Figura 3. Secciones eléctricas A-A', B-B', C-C'

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 4).

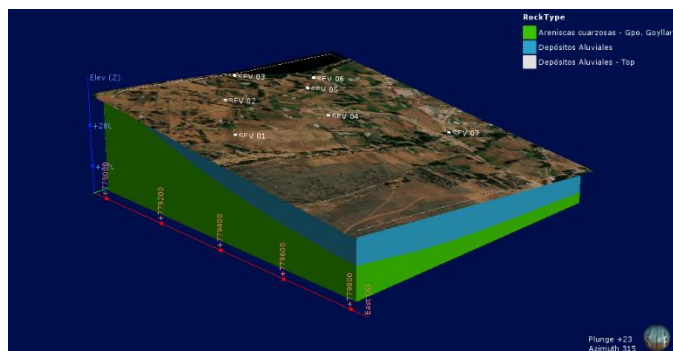


Figura 4. Modelo geológico-hidrogeológico

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 [11].

En la figura 5 se observa el perfil geohidrológico 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 15 m a 85 m debido que el terreno no es homogéneo y presenta una pendiente entre 8°-25°. Los depósitos cuaternarios constituyen un acuífero poroso no consolidados con un peso de 25 a 40 metros lo que se contrasta en este estudio con la presencia del acuífero en los depósitos aluviales [12]

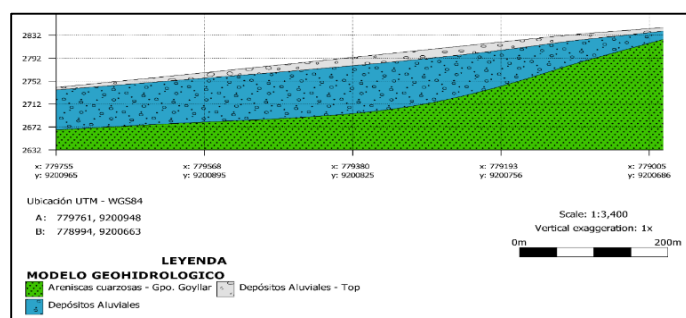


Figura 5. Perfil geohidrológico de la zona de estudio

IV. CONCLUSIONES

El centro poblado de Agocucho presenta condiciones hidrogeológicas favorables (precipitación e infiltración) debido a la recarga en la parte superior de la zona.

La zona más favorable para la captación de agua subterránea se encuentra ubicado en la sección B-B', porque presenta un espesor que varía de 63,00 a 85,00 metros en el horizonte 2 el cual está compuesta por los materiales no consolidados y se encuentra saturado por agua subterránea.

El potencial acuífero se encontró en el horizonte 2, ya que presenta una alta resistividad (187,03 a 302,83 $\Omega \cdot m$) y de acuerdo a la resistividad de materiales y a la geología local este horizonte está conformado por materiales no consolidados como arenas y gravas con una permeabilidad media a alta 3-3600 mm/día) formando los depósitos aluviales de la zona el cual es favorable para el almacenamiento de agua subterránea y para el diseño de obras de captación de agua.

El diseño de obra para captación de agua se puede realizar en el SEV 5, ya que se encontró registro de un pozo antiguo (70 metros de profundidad) el cual presentaba un gran potencial.

El método de los sondeos eléctricos verticales permite identificar el acuífero mediante las resistividades de cada unidad litoestratigráfica. Además, es un método fácil de emplear que permitirá a las comunidades con escasos recursos hídricos a ubicar zonas estratégicas para la extracción de agua. Con ayuda del software Leapfrog se logró un modelamiento muy caro del acuífero, ya que cuenta con una mejor interfaz a comparación de software de modelamiento, y presenta herramientas de gran utilidad para la hidrogeología, tales como la dirección de flujo.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

- [1] K. Hiscock., and V. Bense, "Hydrogeology: Principles and Practice". WILEY Blackwell, 2014.
- [2] L. Song, J. Zhu, Q. Yan, and H. Kang, "Estimation of groundwater levels with vertical electrical sounding in the semiarid area of South Keerqin sandy aquifer, China". *Journal of Applied Geophysics*, 11-18. 2012.
- [3] A. Alabi, R. Bello, A. Ogungbe, and H. Oyerinde, "Determination of ground water potential in Lago State University", 2010
- [4] P. Kearey, M. Brooks, and I. Hill, *An Introduction to Geophysical Exploration*. Oxford : Blackwell Science, 2002
- [5] B. Singhal, and R. Gupta, "Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Springer", 2010
- [6] V. Castillo, "Estudio geofísico para la exploración de agua subterránea en el fundo Buselcat Asia-Cañete, Lima". Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, 2017.
- [7] J. Reynolds, *An introduction to applied and environmental geophysics*, New Delhi, India, 2011
- [8] R. Arredondo, "Estudio de sondeos eléctricos verticales y evaluación hidrogeológica de los manantiales en la Quebrada de Tasata, distrito de

- Polobaya- Región Arequipa”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, 2015
- [9] N. Pérez, P. Garnica, H. Delgado, N. Landaverde, Evaluación de la resistividad en campo y en laboratorio y su aplicación a pavimentos, Mexico, 2010
- [10] A. Mendoza, “Estudio geológico e hidrogeológico y aplicaciones del SEV para la determinación de acuíferos en el centro poblado La Ramada-Subcuenca Porcón”, Universidad Nacional de Cajamarca, 2012
- [11] M. Auge, “Métodos Geolétricos para la Prospección de Agua Subterránea”, Buenos Aires, 2008
- [12] V. Carlotto and F. Peña, “Geología e hidrogeología regional del Proyecto Conga y zonas de Influencia”. (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 2012. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p. 2012.