

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS
SUBTERRANEAS PARA ATENDER LA DEMANDA HIDRICA DE UNA PLANTA
DE PROCESAMIENTO DE MINERALES EN EL DISTRITO DE SOCABAYA**

Informe Técnico presentado por el Bachiller
GAMA BELTRÁN, CARLOS ALFREDO
para optar el Título Profesional de
INGENIERO METALURGISTA

AREQUIPA – PERÚ
2017

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS
SUBTERRANEAS PARA ATENDER LA DEMANDA HIDRICA DE UNA PLANTA
DE PROCESAMIENTO DE MINERALES UBICADA EN EL DISTRITO DE
SOCABAYA**

1	Introducción	1
2	Objetivo	2
	2.1. Objetivo General	2
	2.2. Objetivos Específicos	2
3	Area del Estudio	2
4	Características físicas y geomorfológicas	6
	4.1. Geología	6
	4.2. Geomorfología	8
	4.3. Drenaje	10
	4.4. Clima	10
	4.5. Topografía	10
	4.6. Hidrología	11
5	Prospección geofísica	12
	5.1. Generalidades de la prospección geofísica	12
	5.2. Sondaje eléctrico vertical (SEV)	13
	5.3. Objetivos de la prospección geofísica por resistividad (SEV)	15
	5.4. Sondaje eléctrico vertical (SEV) Trabajo de campo	16
	5.5. Interpretación de datos geoelectricos	18
	5.6. Descripción de los horizontes geoelectricos	22
	5.7. Perfiles geoelectricos	24
	5.8. Profundidad y base de la estructura acuífera	25
	5.9. Conclusiones del estudio prospección geofísica por resistividad (SEV)	26
6	Inventario de fuentes de agua subterránea	27
	6.1. Situación de los pozos	28
7	Descripción del acuífero y la napa	30
8	Hidráulica subterránea	37
9	Hidrogeología del acuífero	48
10	Hidrogeoquímica	50
11	Uso de agua del subsuelo en una planta de tratamiento de minerales	51
12	Resultados	51
13	Bibliografía	52

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA ATENDER LA DEMANDA HIDRICA DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE MINERALES UBICADA EN EL DISTRITO DE SOCABAYA

1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta las actividades y los resultados del estudio hidrogeológico para la explotación de aguas subterráneas para atender la demanda hídrica de una planta de procesamiento de minerales de procedencia de la pequeña minería, la que se ubicaría en la zona denominada Pampa de Umapalca en el distrito de Socabaya.

Entre los factores requeridos para la instalación de la planta, se debe asegurar la disponibilidad del recurso hídrico para emplearse en los procesos metalúrgicos de la misma. La primera evaluación¹ de este aspecto, concluye que la única fuente factible para la captación de agua es el acuífero subyacente en la zona denominada Pampa de Umapalca. Por esta razón, se procede a la realización del estudio hidrogeológico, que se describe en el presente documento técnico.

El área de estudio corresponde al ámbito de la Pampa Umapalca. En particular, porque esta área está clasificada con zonificación compatible para la instalación de *Industria Elemental* por el *Plan Director de Arequipa Metropolitana 2002 – 2015*², lo que facilitaría la instalación de una planta de tratamiento de mineral, más aun si se tiene en cuenta que en la zona ya se localizan unidades empresariales dedicadas a la metal mecánica, procesamiento de plástico reciclado, plantas procesadoras de agregados para la construcción, fábricas de ladrillos, fabricas agroindustriales, la Sub Estación Eléctrica Socabaya, entre otras; además, la habilitación urbana, a cargo de la Asociación ASPPU, responde a los parámetros requeridos para actividades productivas. En la actualidad se cuenta con el servicio de energía eléctrica; pero no se dispone de redes de distribución de agua; la zona es abastecida mediante pozos artesanales dedicados a captar agua del subsuelo.

¹ Estudio de Demanda de recursos Hídricos en la Pampa Umapalca, distrito de Socabaya, Provincia y Región Arequipa.

² Ordenanza Municipal 495-2007-MPA, Adecuación del Plan Director de Arequipa Metropolitana 2002 – 2015 al Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano, de fecha 15 de Noviembre de 2007.

El estudio se realizó entre febrero y marzo de 2009, concluyó con la entrega del informe final. Para la redacción de este informe, se han tomado en cuenta los datos disponibles a esa fecha.

2. OBJETO

2.1 OBJETIVO GENERAL

El estudio tiene como objetivo evaluar el estado actual de los recursos hídricos y la caracterización hidrogeológica del subsuelo en la zona de estudio, cuyo resultado proporcionará información técnica sobre las fuentes de agua subterránea, la explotación actual y, la reserva total de agua almacenada en el acuífero, así como también la factibilidad de su explotación para atender la demanda hídrica de una planta de procesamiento de mineral proveniente de la pequeña mineral de la provincia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Inventariar las fuentes de agua subterránea existente y determinar su volumen de explotación.
- b. Determinar la geometría del acuífero.
- c. Determinar la morfología del basamento rocoso o espesores del acuífero.
- d. Zonificar el acuífero de acuerdo a los parámetros hidráulicos.
- e. Determinar el comportamiento de la napa.
- f. Determinar la calidad del recurso hídrico subterráneo.
- g. Delimitar áreas favorables para la perforación de nuevos pozos.
- h. Calcular la reserva total de agua almacenada en el acuífero.

3. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio, políticamente se ubica en el lugar llamado Pampa Umopalca, comprensión del distrito de Socabaya, Provincia y Departamento de Arequipa. Las coordenadas absolutas que enmarcan la zona son 8 175 997,99 N - 8 178 957,02 N y 230 927,64 E – 232 847,40 E, Datum PSAD 56, altitudinalmente se sitúa entre los 2,310 a 2,390 m.s.n.m. **Ver Anexo 1.**

El acceso es a través de la carretera que conduce al Molino de Sabandía, mediante la carretera asfaltada Arequipa - Chapi, hasta el cruce del observatorio sismológico de Characato siguiendo hacia Yarabamba para luego continuar por el Asentamiento Humano Virgen de la Candelaria, a continuación, a la derecha se encuentra la Pampa de Umapalca.

Otra vía alternativa de acceso es mediante la carretera asfaltada que conduce desde Arequipa hasta el pueblo Tradicional de Socabaya para luego ingresar al A.H.M. Horacio Zevallos Gámez, de allí se toma la vía que se dirige al observatorio hasta llegar al Asentamiento Humano "Virgen de la Candelaria" y de allí a la zona de estudio.



Figura Nº 1
Región Arequipa



Figura Nº 2
Distrito de Socabaya

4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

En este apartado se establece las características geológicas y geomorfológicas del área de estudio, en orientación a la definición de las unidades hidrogeológicas, así como a la determinación de la estratigrafía, litología y límites laterales del reservorio acuífero. Se debe tener en cuenta que el acuífero que subyace en la zona es parte de un acuífero tal vez de carácter regional, de allí la necesidad de hacer una descripción mayor que rebasa largamente los límites de la referida área de estudio.

La estructura geológica condiciona el funcionamiento del complejo acuífero y el desplazamiento de las aguas subterráneas, desde el punto de vista hidrogeológico, está vinculada a las características y distribución de materiales permeables e impermeables, así como a la constitución de fallas y otras estructuras.

4.1 GEOLOGÍA

Orozco, (2011), señala que geológicamente, la zona de estudio, está cubierta en gran parte por materiales aluviales y coluviales, desde el punto de vista estratigráfico, entre los materiales más jóvenes predominan rocas y materiales que pertenecen al cuaternario recientemente comprometiéndose el área agraria y eriaza de la zona, siendo las más antiguas las del Cretáceo Superior del Terciario hasta las más recientes, desde el punto de vista litoestratigráfico, predominan los flujos de barro y tienen una dirección de manera general de Este a Oeste e influyen notablemente en los acuíferos de aguas subterráneas, los que decrecen por influencia de afloramientos de rocas intrusivas predominando las granodioritas de Yarabamba. Los aluviales recientes se encuentran en el lecho del río Mollebaya, así como en los terrenos de cultivo aledaños, en la zona en estudio no se presentan estructuras geológicas, que puedan comprometer la estabilidad del terreno, es decir no se presentan fallas, pliegues y diaclasas. La secuencia litológica del área está comprendida por las siguientes unidades estratigráficas: Flujos de Barro y depósitos coluviales-aluviales recientes.

a. Flujos de Barro

Jenks (1948), anota que estos depósitos provienen del flanco occidental del Pichu Pichu, debido a una avalancha de lodo y agua, el fenómeno que originó la acumulación de materiales, se debió a que las grandes masas poco o nada compactas, fueron saturadas de agua provenientes de los deshielos o fuertes lluvias, favorecidas a la vez por la fuerte pendiente sobre la cual se desplazaron, estos arrasaron con el material que encontró a su paso, para ir a depositarlo a lugares más bajos conforme iba perdiendo velocidad. Los Flujos de Barro por su poca resistencia han sido erosionados dando lugar a quebradas. Se puede distinguir en los Flujos de Barro dos etapas de deposición: La primera etapa, correspondería a la avalancha que produjo al de los bloques más grandes, cubriendo gran parte de la zona ESTE de Arequipa, en este caso la zona de Characato y Socabaya por ser una zona baja.

La segunda etapa, se habría producido por otro periodo de lluvias, pero ya no con mucha intensidad, arrasó con el material existente para depositarse encima del anterior. El material depositado en esta etapa se encuentra mejor clasificado, los clastos son más homogéneos. Litológicamente, los Flujos de Barro están constituidos por fragmentos sub angulosos a sub redondeados de rocas volcánicas andesíticas y tufáceas, de tamaño variable, la matriz es arena tufácea, algo arcillosa y de poca consistencia. Los Flujos de Barro son de edad Neo-Pleistocénica, posterior al volcánico Barroso, infrayacen a los depósitos Cuaternarios recientes.

b. Aluviales Recientes

El mismo Jenks (1948), señala que los aluviales recientes son depósitos que se encuentran a lo largo del río Mollebaya, cuyos materiales están compuestos por gravas y arenas de distinta dimensión. También se encuentran ocupando el lecho y laderas de los diferentes riachuelos y a lo largo de quebradas principales, donde forman terrazas bajas de pequeña extensión y algunos abanicos de

deyección. El material consiste en gravas y arenas de origen andesítico no consolidado, subredondeado, en general poco seleccionado con predominancia de rocas de tipo volcánico. La matriz es areno-arcillosa con material tufáceo en algunos lugares son de edad Cuaternaria, después del emplazamiento de los Flujos de Barro.

4.2 GEOMORFOLOGÍA

Regionalmente, en el área de estudio se encuentran dos unidades geomorfológicas, denominadas: cordillera occidental y la zona de penillanura.

a. Cordillera occidental o zona de cadena volcánica

Comprende los volcanes. Misti, Chachani y Pichu Pichu, que están alineados a lo largo de dos direcciones, una principal NW-SE y una secundaria SW-NE, el Misti activo (fumarólico), el Chachani apagado con su caldera destruida y el Pichu Pichu, que se encuentra frente al área de estudio, es un complejo de varios volcanes donde su flanco S y W está destruido, posiblemente por avalanchas de escombros y se encuentra bastante erosionado por glaciares del pleistoceno.

b. Zona de penillanura

La penillanura está ubicada entre la zona del Batolito y la zona de la cadena volcánica, consiste en una estrecha franja entre 20 y 100 Km. está comprendida entre los 2300 a 2500 m.s.n.m.

La geomorfología del distrito de Socabaya presenta una superficie suavemente ondulada y su sistema de quebradas y drenajes se dirigen a los ríos Socabaya y Mollebaya, los que forman la cuenca del río Tingo Grande y se unen al río Chili a la altura de la parte alta del distrito de Tiabaya. Fisiográficamente se ubica dentro de la unidad llamada Penillanura de Arequipa.

El drenaje es dendrítico en sus partes altas, en el resto del río es algo irregular.

El río Socabaya y Mollebaya son los recolectores de las aguas, las que vienen de las partes altas del flanco occidental de los Andes unos desde el río Andamayo (Chiguata) y otra del río Polobaya (Uzuña).

S. Mendivil (1965) diferencia en el sector tres unidades geomorfológicas: el “Flanco Occidental de Los Andes”, la “Cadena del Barroso” y el “Altiplano”; la zona de proyecto se encuentra en el “Flanco Occidental de Los Andes”, se sitúa entre los 2 200 y 4000 msnm, y ocupa la parte suroeste de la zona. Está constituida por colinas de perfiles poco abruptos, formados por flujos de barro, así como por depósitos aluviales y piroclásticos disletados por una densa red de quebradas encauzadas hacia los ríos Andamayo, Mollebaya y Yarabamba, que se juntan para formar el río Tingo Grande, afluente del río Chili. Los flujos de barro están extensamente repartidos sobre la falda occidental del Pichu Pichu y meridiana del Misti. Es un material poco compacto formado por fragmentos generalmente angulosos, de tamaño muy variable, de andesitas y tufos en una matriz areno-tufácea de consistencia variable, generalmente débil. Su coloración es marrón claro. No presenta estratificación bien definida y es bastante heterogénea en cuanto a las proporciones de los bloques en la matriz, no obstante, se nota una disminución del tamaño de los componentes a medida que se alejan del lugar de donde provienen.

Por su poca compactación, este depósito ha sido fuertemente erosionado, dando lugar a colinas de perfiles suaves, cortados por quebradas profundas. Este depósito pleistocénico, que descansa sobre los derrames andesíticos del Grupo Barroso y está localmente recubierto por materiales recientes, se extiende aproximadamente hasta el río Chili. Su espesor es del orden de 500 m (C. Guevara R. 1969). Su origen es una avalancha de lodo y agua proveniente del flanco occidental del Pichu Pichu (W.F. Jenks, 1948).

4.3 DRENAJE

En el área de estudio, el drenaje del sistema de quebradas que se orientan al río es dendrítico, todo el sistema de quebradas se distribuye con rumbo hacia la cuenca en épocas de lluvia, alimentan y aumentan un caudal considerable, la cuenca del río Tingo Grande como producto de la erosión de esta agua en los lechos de estas quebradas, en el mismo río se observa materiales antiguos y recientes tales como flujos de lodo y barro, gravas, aluviales, cantos rodados. También se observan materiales coluviales producto del transporte de materiales en zonas altas.

4.4 CLIMA

El clima en la zona de estudio es variado, en los meses de septiembre – diciembre es cálido y templado, frío en los meses de junio – agosto y lluvioso en los meses de enero – marzo.

La temperatura en los meses de verano es de 23°C en el día como máxima y en la noche 7°C, en los meses de invierno se alcanza una temperatura máxima de 22°C y una mínima de 4°C, estos cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche se deben a factores como la altitud y la escasa humedad.

4.5 TOPOGRAFÍA

La topografía de la zona no es plana, presenta elevaciones y depresiones moderadas en el terreno a manera de cerros eriazos los que recientemente han sido habilitados y urbanizados. Para el estudio se empleó un plano topográfico del lugar de elaboración reciente y las imágenes satelitales de Google Earth. Para consulta se dispuso del plano catastral del Ministerio de Agricultura a escala 1:5000 con curvas de nivel cada 5.0 ml y la Carta Nacional del I.G.N. a escala 1:100000.

4.6 HIDROGRAFÍA

Siendo los ríos Socabaya y Mollebaya los principales colectores de las aguas de escorrentía, provenientes de las precipitaciones pluviales o de las que afloran de sus márgenes como manantiales y de las aguas no reguladas, este río riega miles de hectáreas en el distrito de Socabaya.

Las aguas del río se originan de precipitaciones pluviales que presentan su máximo caudal los meses de lluvia enero - marzo; disminuyendo su caudal en los meses de abril a diciembre.

a. Aguas Subterráneas

La parte alta del distrito de Socabaya y parte baja de Characato (Horacio Zeballos y Pampa de Umapalca) constituye la zona donde concurre la mayor parte del flujo de aguas subterráneas que se originan en las partes altas de la cuenca. Las aguas que originan el flujo subterráneo son: la infiltración de las precipitaciones, infiltración de las aguas de riego de los terrenos de cultivo en cotas superiores al área de estudio, deshielos y escurrimiento subterráneo de otras cuencas.

El subsuelo de este lugar está conformado por un acuífero de buenas características según el estudio geoelectrico elaborado por el Instituto Geofísico de la U.N.S.A. El cual puede ser explotado empleando adecuados sistemas de extracción para la excavación. Dicho estudio menciona que las condiciones geológicas y topográficas del lugar hacen que las aguas subterráneas provenientes de la parte alta se concentren a razón de un gran reservorio denominándose aguas fósiles. Por tanto, el cauce del río Socabaya sería la única salida por donde fluyen dichas aguas, acumulándose éstas, dando lugar a embalses subterráneos susceptibles de ser explotados.

La descarga del nivel freático se realiza siguiendo la línea de máxima pendiente, lo que nos mostrará la dirección en que las aguas subterráneas son más abundantes. En la zona de estudio sigue la

dirección general de E-O, produciéndose la primera descarga en los manantiales.

El afloramiento de manantiales en la zona baja de estudio, se produce por saturación de las capas impermeables de la zona y a la ayuda de las geo-formas geológicas con presencia de fracturas y contactos, el agua aprovecha estas discontinuidades para emerger en forma de manantiales en la zona.

5. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

5.1. GENERALIDADES DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

La geofísica aplicada usa los principios básicos de la ciencia para estudiar la parte más superficial de la tierra a fin de describir y cuantificar reservas de interés económico para su explotación, como yacimientos minerales, reservas de aguas subterráneas y otros, también es una gran herramienta para ayudar a solucionar problemas geotécnicos en diferentes obras, como mina subterránea y a tajo abierto a fin de preservar su estabilidad y seguridad. Existen varios métodos geofísicos los cuales aprovechan las propiedades físicas de las rocas, pero todos dan informaciones indirectas, es decir no se saca muestras de roca. Los resultados de investigación geofísica son datos que deben ser procesados para una interpretación y modelación.

En los estudios hidrogeológicos se ha demostrado que la prospección eléctrica por resistividad, proporciona mejores resultados frente a los demás métodos de investigación geofísica. Sus resultados son insustituibles en rocas con fuertes contrastes resistivos, como ocurre con las rocas cristalizadas y fracturadas, también se diferencian marcadamente de las rocas sedimentarias, por sus características físico químicas. Estos contrastes de resistividad permiten identificar las zonas intemperadas y/o fracturadas por procesos tectónicos, por donde tienen su flujo preferencial las aguas subterráneas, en algunos casos también pueden comportarse como trampas o reservorios de las aguas subterráneas.

La prospección eléctrica por resistividad, se sustenta en la noción de resistencia eléctrica formulada por Georg Simon Ohm como complemento de la ley de la electricidad, también conocida como Ley de Ohm.

La resistividad eléctrica se define como la intensidad de la fuerza con la que se opone un material al flujo de la corriente eléctrica. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y en el S.I. se mide en Ohm-metro ($\Omega\cdot m$).

Un valor bajo de resistividad indica que el material es un buen conductor de la electricidad, por el contrario, un valor alto señala que es un mal conductor.

Considerando que la resistividad es la propiedad inversa de la conductividad eléctrica, se deduce que la resistividad matemáticamente se expresa mediante la relación:

$$\rho = R \frac{S}{l}$$

Donde:

- R. Resistencia en ohm.
- S. Sección transversal en m^2 .
- l Longitud en m.

Cada material, según sus componentes mineralógicos, tiene una conductividad eléctrica, que proviene fundamentalmente de la cantidad de minerales metálicos y no metálicos, del grado de humedad del medio físico y grado de mineralización del agua que ocupan los espacios intersticiales de las rocas sedimentarias; la temperatura también influye en la conductividad de las rocas. Estas son las características más importantes que definen la resistividad del medio físico.

5.2. SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

Este método utiliza corriente continua producida por generadores artificiales. La finalidad del SEV es la determinación de las profundidades de las capas del subsuelo a través de las resistividades o conductividades

eléctricas de las mismas, mediante mediciones efectuadas en la superficie. Es uno de los métodos de Prospección Geofísica el cual tiene base teórica, física y matemática definida que garantiza su exactitud.

La resistividad del subsuelo es un parámetro extremadamente diferenciado, su rango de valores en Ohmios-metro, depende de las variables geotécnicas del material que atraviesa la corriente eléctrica. Este método utiliza las variaciones de las propiedades eléctricas, de las rocas y minerales, y especialmente su resistividad. Generalmente, emplean un campo artificial eléctrico creado en la superficie por el paso de una corriente en el subsuelo. Los mapas de iso-resistividad permiten definir los límites del acuífero, el nivel del agua en los acuíferos.

Los trabajos de campo son interpretados en gabinete mediante el empleo de software informático. Los Cortes o Perfiles del subsuelo permiten visualizar claramente la geometría del reservorio de aguas subterráneas y ubicar adecuadamente las perforaciones.

Para la evaluación de la resistividad (ρ) de un terreno se emplea un dispositivo que comprende dos circuitos. Uno de emisión entre dos puntos "A" y "B" y el otro de recepción entre los puntos "M" y "N" el conjunto constituye un Cuadripolo. Esta técnica consiste en separar sucesivamente los electrodos de corriente "A" y "B" del punto central, siguiendo una línea recta y medir la resistividad en cada disposición. La resistividad aparente calculada será, por tanto, la correspondiente a mayores espesores según se van separando los electrodos. Se emplea generalmente la configuración Schlumberger. El resultado que se obtiene del SEV es la variación de la resistividad (ρ) con la profundidad en el punto central del perfil investigado, las profundidades más habituales en la investigación están entre 0 y 200 m.

La **Figura Nº 2**, representa a un Cuadripolo clásico AMNB, cuyos cuatro polos están alineados simétricamente, donde AB y MN tienen el punto "O" como centro y se le denomina estación SEV (Sondaje Eléctrico Vertical) y sobre él se realiza todo el análisis geo eléctrico.

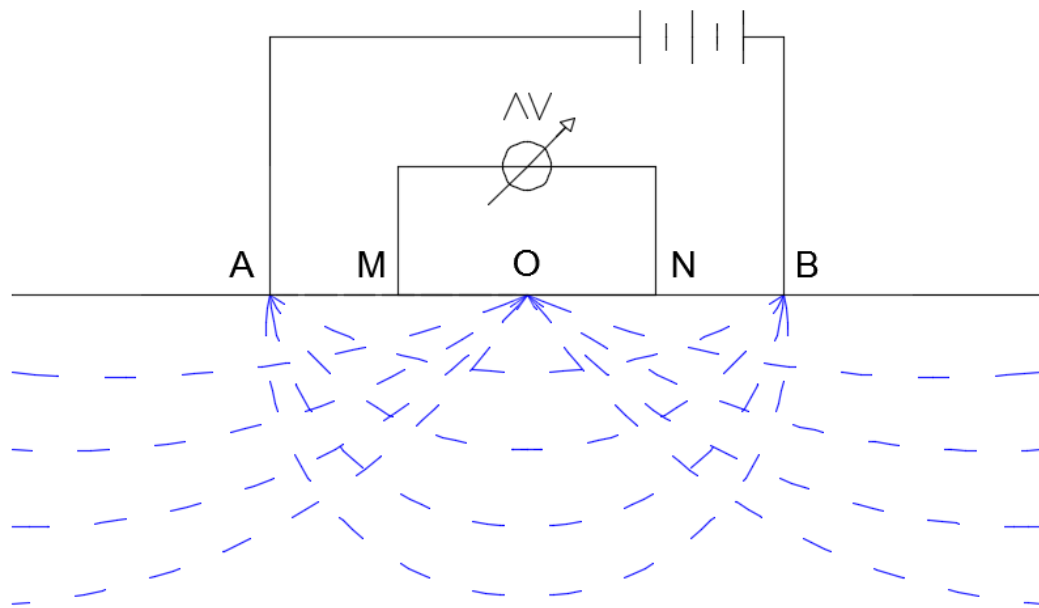


Figura N° 3
Cuadripolo Clásico AMNB

En la **Figura N° 3**:

AB = Electrodo de Emisión

MN = Electrodo de Recepción

$$a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Donde:

a: Resistencia Aparente [-m].

K: Coeficiente Geoeléctrico.

ΔV : Diferencia de Potencia [milivoltios].

I: Intensidad [Miliamperios].

5.3. OBJETIVOS DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR RESISTIVIDAD (SEV)

El estudio de Prospección Geofísica por Resistividades del área de estudio, mediante el método de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), se planteó los siguientes objetivos:

- a. Determinar la localización y las condiciones de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

- b. Determinar las secciones y la geometría del reservorio acuífero, así como el espesor y las características de cada uno de los horizontes que conforman el subsuelo,
- c. Ubicación aproximada de los niveles de agua.

5.3. SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL (SEV), TRABAJO DE CAMPO

El estudio geofísico, se realizó mediante el uso del dispositivo para SEV de marca Schlumberger simétrico tetra electródico, La configuración de los electrodos se realizó con medidas a partir de $AB/2 = 3$ m. y $MN = 0.75$ m, la línea de extensión AB alcanzó valores promedios de $AB/2 = 400$ m, su variabilidad dependió de las condiciones del terreno, topografía y del objetivo buscado.

Las características del equipo empleado se detallan a continuación:

- Receptor Diapir.

Sensibilidad máxima:	En micro voltios
Medición de resistividad:	10 -1 10 - 4
Ganancia en 7 valores (G):	3 – 3000
Colocación de coeficiente geo eléctrico:	100 – 900
Impedancia de entrada:	5 m
Controla automáticamente al emisor	
- Transmisor Diapir T-200.

Fuente de alimentación, batería:	12 voltios
Voltaje de salida en 5 rangos:	130 - 500 V
Corriente máxima de salida:	0.2 – 10.0 A
Potencia máxima:	280 w
- Accesorios:
 - Multitester elemento auxiliar del receptor.
 - Cuatro bobinas con cable eléctrico.
 - Electrodos de cobre (impolarizables).
 - Electrodos de acero.
 - Equipo de radio para comunicación.
 - Baterías de 12voltios.

Se han ejecutado 26 Sondajes (SEV), estableciéndose una red de puntos de observación para favorecer la determinación de las zonas con el mejor estrato acuífero. Para la ubicación de cada punto SEVs, se ha empleado el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), estableciéndose la geolocalización y las altitudes de cada uno. **Ver Anexo 2.**

Cuadro N° 1

Ubicación de los SEVs en Coordenadas UTM

SEV	UTM Este	UTM Norte	Altitud m.s.n.m.
1	233422	8179211	2400
2	233035	8179204	2395
3	232509	8179253	2396
4	232262	8179184	2406
5	231979	8178967	2408
6	231815	8178775	2403
7	231594	8178611	2400
8	232591	8178533	2424
9	232380	8178561	2426
10	232160	8178579	2425
11	231696	8178242	2425
12	231494	8178269	2404
13	232535	8177907	2429
14	232078	8177937	2423
15	231825	8177808	2418
16	231450	8177752	2409
17	231194	8177630	2387
18	232060	8177627	2421
19	232017	8177031	2391
20	231649	8176743	2374
21	231285	8176734	2377
22	231165	8177041	2377
23	231973	8176613	2389
24	231559	8176236	2375
25	232283	8176230	2391
26	231889	8176144	2388

5.5 INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOELÉCTRICOS

El proceso de interpretación, es la fase que permite determinar los parámetros básicos de Resistividad Verdadera y Espesores de cada uno

de los horizontes geo eléctricos que constituye el subsuelo. Estos parámetros van a depender de la fisuración, contenido de agua, mineralización, salinidad, porosidad, características propias del suelo, etc.

Las resistividades verdaderas y espesores, se correlacionan, obteniéndose planos y perfiles de las variaciones laterales y en profundidad de las características físico - geológicas del ámbito de estudio. La interpretación analítica se ha hecho con la ayuda de curvas maestras, la metodología empleada fue la de Schlumberger y Ebert. El análisis geoelectrico, se ha desarrollado tomando como base, el cuadro de valores de resistividad y espesor obtenido de la interpretación de las curvas obtenidas en la etapa de trabajo de campo,

En los cuadros que siguen se presenta los resultados, señalándose la profundidad, resistividad y espesor en cada punto SEV.

En particular, se muestra en cuadro aparte la información del Horizonte 4 que corresponde a la estructura acuífera, que interesa para la obtención de los objetivos del presente estudio. En este caso, destaca los datos de resistividad elevada de los SEVs 4, 8, 9, 10 y 15, lugares en los que la presencia de agua es desfavorable.

Cuadro Nº 2

Valores de Resistividad y Espesores Geoelectricos

SEV	Horizonte 1		Horizonte 2		Horizonte 3		Horizonte 4		Horizonte 5	
	Resist. Ω -m	Espesor m	Resist. Ω -m	Espesor m	Resist. Ω -m	Espesor m	Resist. Ω -m	Espesor m	Resist. Ω -m	Espesor m
1	13	0,7	219	1,1	14	1,8	91	214,4	726	
2	163	1,0	11	2,4	232	8,4	67	66,2	380	
3	875	3,0	403	3,6	799	27,0	91	184,7	1 108	
4	610	2,0	8 751	4,3	956	38,8	206	118,0	4 710	
5	879	1,6	3 923	10,1	5 153	11,4	55	41,4	2 995	
6	808	5,2	5 278	6,7	707	8,7	58	23,3	6 272	
7	1 258	3,3			2 009	29,4	80	266,3	1 269	
8	207	1,3			1 795	5,5	133	249,7	941	
9	613	1,6			713	15,4	143	241,3	1 288	
10	363	1,1			2 282	3,2	232	270,9	2 054	
11	414	1,6	38	5,3	696	42,1	29			
	849	1,6	313	28,7						
12	3 239	3,7	886	23,1	602	28,2	32	82,8	1 478	
13	872	2,7	1 986	11,2	750	11,5	41	62,6	378	
14	393	1,9	4 325	3,6	861	42,5	42	106,2	449	
15	176	1,7			1 334	4,8	128	49,5	1 110	
16	420	3,1	135	9,3	1 908	10,5	106			
17	223	3,8			574	20,2	82	136,0	686	
18	115	4,3			360	158,3	32			
19	239	1,6	2 550	2,2	502	31,3	44	63,7	1 026	
20	324	2,3			968	2,4	102	146,0	994	
21	250	1,8	54	3,7	495	11,4	49	72,3	843	
22	163	1,3	604	2,3	233	29,1	25	33,1	502	
23	449	4,0			65	4,2	93	180,3	1 276	
24	656	1,3	54	2,3	941	3,9	30	12,8	541	
							114	185,4		
25	1 003	1,9			217	30,6	49	24,2	145	
26	559	2,3	1 252	6,1	668	11,2	93	89,9	1 525	

Cuadro N° 3

Profundidad de la Estructura Acuífera (Horizonte 4)

SEV	Horizonte 4		
	Resist.	Espesor	Profundidad
	Ω -m	m	m
1	91	214,4	4
2	67	66,2	12
3	91	184,7	34
4	206 *	118,0	45
5	55	41,4	23
6	58	23,3	21
7	80	266,3	33
8	133 *	249,7	7
9	143 *	241,3	17
10	232 *	270,9	4
11	29		79 **
12	32	82,8	55
13	41	62,6	25
14	42	106,2	48
15	128 *	49,5	7
16	106		23 **
17	82	136,0	24
18	32		163 **
19	44	63,7	35
20	102	146,0	5
21	49	72,3	17
22	25	33,1	33
23	93	180,3	8
24	30	12,8	8
	114	185,4	20
25	49	24,2	33
26	93	89,9	20

* Zonas no favorables.

** Profundidad interpolada.

5.6. DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES GEOELÉCTRICOS

a. Horizonte 1

Primer Horizonte geoelectrico determinado en la zona de estudio, en los SEVs 1 y 2, las características son diferentes, por cuanto el SEV1, está ubicado en el lecho de la quebrada (cerca al Molino de Sabandía), y el SEV2 en el camino (cerca al Metropolitano).

En estos lugares, presenta resistividades que oscilan entre 13 y 163 Ohmios-metros y espesores entre 0.7 y 1.0. En el SEV1, este pequeño horizonte está saturado de agua por las aguas de riego que discurren por esta superficie, el cual no tiene importancia como estructura acuifera.

En los demás SEVs, este primer horizonte se observa en toda la zona, presenta resistividades que oscilan entre 115a 1258 Ohmios-metro y espesores entre 1.1 y 5.2 metros, está constituido por una cobertura superficial y por flujos de lodo intemperizados compactos formando una estructura calichosa, sin presencia de humedad.

b. Horizonte 2

Segundo Horizonte determinado en el SEV1, tiene una resistividad de 219 ohmios-metro y 1.1 de espesor, que corresponde a materiales de conglomerados y arenas. En el SEV2 tiene una resistividad de 11 Ohmios-metro y un espesor de 2.4 m, tiene condiciones acuiferas de muy poca potencia.

Este horizonte en los demás SEVs, se observa en toda la zona, presenta valores de resistividad altos que van desde 54 a 8751 Ohmio-metro, con espesores de 2.2 y 158.3 metros respectivamente. Este horizonte geoelectrico estaría constituido por flujos de lodo de diferentes períodos de depósito, fuertemente compactada sin presencia de humedad.

En este horizonte, los SEVs 23 Y24 presenta valores bajos de resistividad, los cuales pueden ser debido a un alto contenido de sales, pero que no representan una estructura acuífera,

c. Horizonte 3

En el SEV1, presenta una resistividad de 14 Ohmios-metro y un espesor de 1.8 metros, esta estructura tiene contenido de humedad y sales por su baja resistividad.

En los demás SEVs, las resistividades van desde un valor de 232 a 5153 Ohmios-metro, con espesores de 3.9 a 42.5 metros. Correspondería a materiales consolidados del mismo origen descritos en los horizontes anteriores y de acuerdo a los valores de resistividad observados no presentan condiciones acuíferas.

d. Horizonte 4

Cuarto Horizonte determinado, presente en toda la zona de estudio, tiene valores de resistividad que oscilan entre 25 y 232 Ohmio-metro con espesores entre 24.2 y 270.9 metros. Por sus características geofísicas se comporta como la estructura acuífera de la zona de estudio. Estaría conformada por materiales permeables como gravas, areniscas y flujos de lodo.

En algunos SEVs, tales como los SEVs: 4, 8, 9, 10 y 15, esta estructura, presenta valores ligeramente altos de resistividad, lo que indicaría que estos lugares no son muy favorables para la extracción de aguas subterráneas, o que pueden proporcionar muy poca cantidad de agua.

e. Horizonte 5

Quinto Horizonte detectado, también se presenta en toda la zona de estudio, presenta valores de resistividad que oscilan entre 145 y 6272 Ohmios-metro, de espesor indefinido; se comporta como la

estructura semi - impermeable. Posiblemente constituida por materiales de origen ígneo.

5.7. PERFILES GEOELÉCTRICOS

Con las estructuras determinadas en cada SEV, se han elaborado ocho perfiles o secciones para poder visualizar y observar la configuración de la estructura acuífera.

a. Perfil Geoelectrico SEV1 - SEV2

Este perfil se observa en el **Anexo 3**, el cual muestra la configuración de la estructura acuífera, que, en el SEV1, está a una profundidad promedio de 4 metros, con una potencia de 214.4 metros, representando la zona más favorable para la extracción de aguas subterráneas, así como las posibilidades de recarga.

b. Perfil Geoelectrico SEV3 - SEV4 - SEV5 - SEV6 - SEV7

Este perfil se muestra en el **Anexo 4**, la zona más favorable se presenta en el SEV3, a una profundidad promedio de 34 metros, con una potencia del estrato de 184.7 metros. Así mismo el SEV7, a una profundidad promedio de 33 metros y una potencia del estrato de 266 metros.

c. Perfil Geoelectrico SEV8 - SEV9 – SEV10 - SEV7

Esta sección se observa en el **Anexo 5**, estas zonas no son favorables para la extracción de aguas subterráneas (por sus valores de resistividad relativamente altos), a excepción del SEV7.

d. Perfil Geoelectrico SEV11 - SEV12

Esta sección se muestra en el **Anexo 6**, en estos lugares la estructura acuífera está más profunda en el SEV11 a 79 metros, su potencia de la estructura en promedio es de 82 metros.

e. Perfil Geoeléctrico SEV13 - SEV14 - SEV15 - SEV16 - SEV17

En este perfil la zona más favorable se encuentra en el SEV14, a una profundidad promedio de 48 metros y una estructura acuífera de 106 metros, así mismo en el SEV17, a una profundidad promedio de 24 metros y una potencia de la estructura de 136 metros. **Ver Anexo 7.**

f. Perfil Geoeléctrico SEV10 - SEV14 - SEV18 - SEV19 - SEV23 - SEV26

Anexo 8, las zonas más favorables lo representan los SEVs 23 y 26, cuya estructura acuífera en el SEV23, se encuentra a una profundidad promedio de 8.2 metros y una potencia de 180 metros, en el SEV26 a una profundidad de 20 metros y con una potencia de 90 metros.

g. Perfil Geoeléctrico SEV23 - SEV20 - SEV21 - SEV22

En este perfil, ver **Anexo 9**, las zonas favorables se encuentran en el SEV23 y SEV20, cuyas profundidades de la estructura acuífera se encuentra a 8.2 metros y 5 metros respectivamente, con potencias de la estructura acuífera de 180 y 146 metros.

h. Perfil Geoeléctrico SEV25 - SEV26 - SEV24

En este perfil, presentado en el **Anexo 10**, el lugar que reúne las mejores condiciones lo representa el SEV 24, en este lugar se presenta dos estructuras favorables a una profundidad de 8 y 20 metros respectivamente y una potencia del acuífero de 185 metros.

5.8. PROFUNDIDAD Y BASE DE LA ESTRUCTURA ACUÍFERA

En el **Anexo 11**, se muestra un mapa de curvas de nivel de la profundidad (metros) del acuífero. En el **Anexo 12**, se presenta niveles IsoProfundidad cada 10 m, de la Base de la estructura acuífera, donde se puede observar la geomorfología en profundidad, así como el **Anexo 13**, se expone la dirección del flujo de las aguas subterráneas, empezando por el SEV1

(dirección Este-Oeste) y continuando por los SEVs: 8, 9, 10 y 7 y también a partir del SEV8 (dirección Sur-Oeste), se ramifica en dirección de los SEVs: 14, 8, 19 y 20.

En esta figura las zonas de mayor profundidad (valles), representan zonas de un mayor espesor del acuífero, favorables para la extracción de aguas subterráneas.

Todos estos mapas ayudaran a tomar una mejor decisión para la extracción de las aguas subterráneas.

5.9 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR RESISTIVIDAD (SEV)

- a. El estudio, ha permitido determinar la existencia de 05 estructuras con diferentes características de resistividad y espesor.
- b. Las primeras cuatro estructuras estarían conformadas geológicamente por flujos de lodo, presentando diferentes grados de compactación y tamaño.
- c. La cuarta estructura determinada, constituye la estructura acuífera, cuya geometría no es uniforme, presentando zonas favorables y desfavorables para la extracción del agua subterránea.
- d. El quinto horizonte se comporta como la estructura impermeable.
- e. Las zonas favorables para la extracción del agua subterránea se encuentran en los lugares donde se han realizado los Sondajes Eléctricos Verticales: SEV1, SEV3, SEV7, SEV14, SEV17, SEV20, SEV23 y SEV24,
- f. De acuerdo a los valores de conductividad, los materiales que conforman la estructura acuífera presentan buena permeabilidad al paso de los fluidos como es el caso del agua.
- g. En algunas zonas los valores de resistividad son bajos, lo que indica que el agua de impregnación debe presentar relativo contenido de sales.
- h. De acuerdo a los resultados obtenidos y la topografía de la zona, el área más favorable para la perforación de un pozo estaría ubicada en el SEV1 cerca al Molino de Sabandía, cuya estructura acuífera se

encuentra a una profundidad promedio de 4 metros, con una potencia del acuífero de 214 metros, además esta zona es favorable por encontrarse en una zona de confluencia o quebrada tiene posibilidades de recarga de agua, importante cuando se empiece a extraer el agua con fines de consumo.

- i. Otras zonas favorables serían los puntos ubicado en el SEV3 y SEV7, en los cuales la estructura acuífera se encuentra a 34 metros, con una potencia del acuífero de 185y 266 metros respectivamente.
- j. En el área central del ámbito de estudio, las zonas favorables se encuentran en los SEV14 y SEV17 a una profundidad promedio de 48 y 24 metros respectivamente y un espesor de la estructura acuífera de 106 y 136 metros.
- k. En el otro extremo de la zona de estudio (cerca de Socabaya), las zonas favorables se encuentran en los SEV20, SEV 23 y SEV24, con profundidades de la estructura acuífera de 5, 8.2 y 7.5-20 metros, con una potencia de la estructura acuífera de 146, 180 y 185 metros respectivamente.
- l. Las pruebas de bombeo permitirán determinar el rendimiento del acuífero, ésta información es importante para las instalaciones de captación evitando costos excesivos o pérdidas importantes si los resultados son negativos. Estas pruebas definirán los caudales que pueden fluir hacia la captación para cada situación de equilibrio dinámico del sistema hidráulico.

6. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA

El objetivo principal del inventario de las fuentes de aguas subterráneas, naturales o artificiales, es la determinación de la cantidad y situación actual de los manantiales y pozos, cuyo resultado permitirá conocer su situación física y técnica, así como también cuantificar la masa de agua explotada del acuífero cuando se cuente con adecuada información.

En el área de estudio existe sólo un tipo de fuente de agua subterránea, que es artificial, representados por los pozos a tajo abierto, excavados artesanalmente.

Se tiene conocimiento de la existencia de 21 pozos a tajo abierto dentro del área de la Asociación Umapalca, de diferente diámetro y diferente profundidad, de los cuales se han inventariado 16 pozos, todos ellos son pozos a tajo abierto, como puede verse en el cuadro de inventario de pozos. La profundidad de los pozos varía de 35,0 m a 76,0 m y el diámetro de 0,90 m a 1,20 m. No fue posible obtener información de todos los pozos por la natural resistencia de los usuarios frente al temor de declarar la situación de sus pozos y su régimen de explotación, pues todos ellos están en situación irregular ante la autoridad local de aguas.

En los planos anexos, se muestra el área de estudio y la ubicación de los pozos existentes inventariados, así mismo se presenta el cuadro de Inventario de Pozos existentes.

Para la identificación de los pozos inventariados la autoridad de aguas emplea una clave, la misma que está conformada por las letras IRHS (Inventario de Recursos Hídricos Subterráneos) y cuatro (04) números, los tres primeros (1er, 2do y 3ro) constituyen los códigos del departamento, provincia y distrito respectivamente, mientras que el 4to número, es el que se le asigna al pozo de acuerdo a un orden correlativo. En presente caso, no se asigna ningún código, sólo se inserta la relación de los pozos inventariados durante el estudio, con su correspondiente ubicación, características físicas y de descripción de equipamiento.

6.1 SITUACIÓN DE LOS POZOS

a. Pozos Utilizados

Son aquellos pozos que durante la fase del inventario se encontraban funcionando (operativos) y cuyas aguas extraídas son utilizadas en diferentes usos: doméstico, pecuario agrícola, industrial etc. Dentro del área en estudio se han inventariado 12 pozos utilizados, representando el 80 % del total de pozos inventariados. Esta información del uso de los pozos se muestra en el cuadro respectivo.

b. Pozos Utilizables

Son pozos que se encuentran sin equipo, en perforación, con el equipo de bombeo malogrado y/o en reserva. No se ha registrado ningún pozo en esta situación.

c. Pozos no Utilizables

Son aquellos que durante el inventario se encontraban secos, derrumbados, enterrados y/o salinizados. Se encontró 03 de este tipo de pozos dentro de la zona en estudio, dos de ellos eran de consumo humano y uno industrial.

d. Uso de los Pozos

Se han inventariado en total 16 pozos, de ellos 12 se encuentra en uso.

- **Pozos de uso Domestico**

Según el inventario realizado dentro de la zona en estudio, un (01) pozo es utilizado para estos fines.

- **Pozos de Uso Agrícola y Agropecuario**

Del total de pozos encontrados, siete (07) de ellos es utilizado para estos fines.

- **Pozos de Uso Industrial**

Del total de pozos encontrados, cuatro (04) de ellos son utilizados para estos fines.

e. Rendimiento de los Pozos

De seis pozos en explotación, se han registrado caudales de 1,67 litros/seg a 3,67 litros/seg.

f. Características técnicas de los Pozos

- **Tipo de Pozos**

La totalidad de pozos son artesanales a tajo abierto

- **Profundidad de los Pozos**

Las profundidades de los pozos varían entre 60 y 80 m.

- **Diámetro de los Pozos**

El diámetro medido de los pozos varía de 0,90 m a 1,20m.

g. Equipo de Bombeo

Del total de pozos inventariados, cuatro de ellos tenían equipo de bombeo, tres con bombas sumergibles marca Pedrollo y uno con electrobomba.

h. Manantiales

Dentro de la zona en estudio no se han encontrado manantiales.

7. DESCRIPCION DEL ACUIFERO Y LA NAPA

Con el fin de mostrar las condiciones del agua subterránea en el área de estudio, se presentará la información de las características del acuífero y la napa en forma gráfica, mediante planos o mapas referidos a Isobatas, gráfica de área – tiempo, isohypsas, plano de mínimos niveles freáticos, plano de incrementos, plano de la profundidad del estrato impermeable, perfil del nivel freático y hidrograma de pozos

a. Isobatas

Las Isobatas, son líneas que unen puntos que tienen la misma profundidad de la tabla de agua (isoprofundidad). Este gráfico proporciona:

- La localización de las zonas con diferentes niveles freáticos.

- La localización de las áreas con problemas de drenaje, es decir, las áreas con un nivel freático cercano a la superficie.
- El aumento o disminución de las áreas problema en función del tiempo.

En los 15 pozos inventariados se ha podido medir profundidades de nivel freático que fluctúan entre 33,26 y 61,27 m de profundidad, habiéndose sectorizado 04 zonas con 10 m de intervalo.

b. Isohypsas

Las hidroisohypsas, son líneas de igual elevación de la tabla de agua subterránea, con respecto al nivel del mar (equipotenciales). Permite calcular:

- Las líneas equipotenciales.
- La dirección de las líneas de corriente, las que se trazan ortogonales o perpendiculares a las isohypsas.
- Posibles zonas de aportación o sumideros.
- Las zonas con diferentes valores de i :

$$i = \frac{\Delta\phi}{L}$$

- Posibles zonas de aportación o descarga.
- Valor relativo de K de cada área.

$$Q = KAi \Rightarrow K = \frac{Q}{Ai}$$

Del estudio y trazado de las líneas de corriente, se tiene que la tendencia general del flujo es del E a O y NE a SO, en donde se han encontrado tres zonas diferenciadas de gradiente hidráulico:

- En la zona de la manzana J de ASPPU se tiene una gradiente $S_1 = 0,03429$ con dirección E – O.

- La zona entre las manzanas N y S de ASPPU con una gradiente $S_2 = 0,0086$ con dirección NE – SO.
- La zona entre las manzanas L y Q de ASPPU, con una gradiente $S_3 = 0,0222$, con dirección NE – SO, las curvas isohipsas corresponden a las líneas equipotenciales.

c. Plano de mínimos niveles freáticos observados

Este plano, es similar al de isohipsas pero obtenido con las profundidades o cotas más bajas del nivel freático que fueron observadas en cada pozo, durante un período no menor a 12 meses.

Aunque este plano no muestre las condiciones del flujo de un momento dado, ya que el conjunto de lecturas mínimas, que han sido seleccionadas no corresponden a una sola observación, sí representa los niveles de los mantos freáticos de cada lugar, cuando éstos reciben las menores aportaciones, y es posiblemente la única representación hipotética del estado que tendrá el manto freático después de que haya sido construida una red de drenaje que trabaje eficientemente. Representa el momento que más se aproxima a la condición de un régimen permanente y establecido, sin efectos de alimentaciones temporales. Las líneas de corriente resultantes de las equipotenciales del plano de niveles mínimos, marcan la dirección y los recorridos más probables de los flujos de las aguas freáticas futuras.

d. Plano de incrementos

Los planos de incremento, se obtiene superponiendo a las isohipsas de mínimos niveles, las isohipsas de cualquier mes, simulándose de esa forma el movimiento de volúmenes de agua en los períodos estudiados.

Con ayuda de los planos mensuales, se pueden definir las causas que originan los promontorios, ya que es probable que aquellos que se desvanecen en unos y vuelven a aparecer en otros, tienen su origen en sobre-riegos o en filtraciones de canales que no se operan permanentemente. En cambio, los que se desplazan con recorridos de

forma más o menos constante por varios meses consecutivos, procederán de filtraciones de una fuente que se opera en forma constante.

Constituye un complemento del plano de isohipsas con líneas de corriente, al precisar las localizaciones que deben tener las captaciones, así como las direcciones más convenientes para interceptar los desplazamientos de agua.

e. Plano de la profundidad del estrato impermeable o hidroapoyo

Se define como barrera impermeable o hidroapoyo, a un estrato continuo sobre la mayor parte del área a drenarse, que es de muy baja permeabilidad y de un espesor tal que impide un movimiento descendente del agua subterránea.

Existen dos criterios para considerar a un estrato como barrera impermeable:

- Se considera un estrato impermeable, cuando la conductividad hidráulica de este estrato es menor que el 10% de la conductividad del estrato superior.
- El Bureau of Reclamation, considera una barrera impermeable cuando la conductividad hidráulica es menor que el 20% de la conductividad hidráulica ponderada de los estratos superiores.

$$K < 0.20 \frac{K_1 D_1 + K_2 D_2 + \dots + K_n D_n}{D_1 + D_2 + \dots + D_n}$$

- Es un parámetro que es necesario conocer para el uso de las fórmulas de espaciamiento de drenes.
- Es necesario para definir requerimiento de drenaje.
- Permite definir la ubicación y profundidad de drenes.
- La diferencia entre la cota del nivel freático y la del estrato impermeable, representa el espesor del estrato transmisor de agua.

f. El Acuífero

En el presente estudio se efectuó el levantamiento geológico – geomorfológico de la zona, se observó con mucha dificultad algunos perfiles litológicos de pozos existentes, por tener anillos de concreto, así como también se realizó observaciones “in situ” en un pozo que se está perforando, lo cual ha permitido determinar que el acuífero está constituido por depósitos del cuaternario y del terciario. El primero de los nombrados representado principalmente por los aluviales, en forma secundaria por los piroclásticos recientes, flujos de barro y volcánico Barroso, mientras que el segundo por el volcánico Sencca. Se trata de un acuífero libre, cuya característica es que el nivel freático está en contacto con la atmósfera, sin ninguna capa confinante o semiconfinante. La profundidad del nivel freático (nivel del agua en reposo) fue determinada con una sonda eléctrica, tomando como referencia el nivel del terreno en la boca del pozo, cuya cota fue determinada del levantamiento topográfico a curvas de nivel y verificada a partir de uno de los BMs de apoyo. La profundidad del nivel freático varía de 33,26 m a 61,72 m de profundidad.

La potencia del acuífero se pudo determinar en base a los sondajes eléctricos verticales y los parámetros hidrodinámicos se evaluaron mediante la prueba de rendimiento, realizadas en alguno de los pozos a tajo abierto perforados en la zona de estudio y que están en operación, lo cual ha permitido determinar que el acuífero está constituido por depósitos del cuaternario y del terciario.

Basándose en los resultados del estudio geológico - geomorfológico, de observaciones “in situ” de los perfiles litológicos de algunos pozos y en pozos que se estaban perforando, se ha logrado describir la litología y los materiales que conforman el acuífero.

El acuífero está constituido por materiales aluviales y de los volcánicos Barroso y Sencca de edad cuaternaria y terciaria, así como también por flujos de barro y piroclásticos recientes. Litológicamente el primero de los nombrados está conformado por depósitos de cantos, gravas y guijarros en matriz areno-arcilloso y con inclusiones de bloques, mientras que el

volcánico Sencca por tufos arenosos brechoides con fragmentos angulosos y subredondeados; y el Barroso por lavas y brechas en bancos de 5 a 10 cm de espesor.

Los depósitos piroclásticos recientes están constituidos por la alternancia de capas de arena, lapilli y ceniza volcánica, mientras que los flujos de barro son fragmentos y bloques angulosos de origen volcánico (tufos y lavas) en matriz areno-tufácea o arcilloso.

La zona de estudio forma parte de uno de los lados geométricos del valle del río Socabaya hacia el norte, por el sur y oeste el Batolito de la Caldera, es decir es el límite. El acuífero se ubica en el ala derecha del Batolito La Caldera y por el este va hasta las estribaciones del Pichu Pichu, de donde probablemente proviene su mayor recarga.

g. La Napa

La napa freática es libre, siendo su principal fuente de alimentación las aguas que se infiltran desde las estribaciones del nevado Pichu Pichu que constituye su principal recarga, así como a través de los canales de riego no revestidos y de las áreas de cultivo que se encuentran bajo riego en cotas superiores.

De acuerdo a las observaciones efectuadas en la zona, se ha podido determinar que:

Se puede mencionar que, en este sector, la napa se ubica entre 33,26 m y 61,72 m de profundidad; dependiendo de condiciones locales, sin embargo, se manifiesta que esta profundidad puede variar durante periodos o ciclos húmedos (alta recarga).

h. Reservas Totales

Uno de los aspectos de gran importancia, enmarcado dentro del presente estudio, es determinar los volúmenes de agua almacenados o más propiamente dicho que está en circulación dentro del reservorio acuífero, bajo el área de estudio; en la medida que su conocimiento implica contar

con los elementos suficientes acerca de la disponibilidad hídrica subterránea existente y sus posibilidades de explotación.

Con el propósito de tener mayor exactitud en el cálculo de las reservas totales, se preparó un plano de profundidades del basamento o capa impermeable determinado con el estudio geofísico realizado en el año 2005, habiendo discretizado las alturas de columna de agua desde el nivel freático hasta el basamento o impermeable, con un promedio de 84,00 metros de columna de agua, al momento del estudio, la superficie total de la Pampa Umopalca es 3 652 979,50 m², de donde resulta que se tiene un volumen acuífero de $V = 306\,850\,278,00\text{ m}^3$.

- Espesor del acuífero (calculado en base a SEVs): 84,00 m
- Superficie o área del terreno: 3 652 979,50 m²
- Volumen del acuífero: 306 850 278,00 m³
- Porosidad estimada de acuerdo a la litología del acuífero: 0,06
- Volumen de agua en el acuífero: 18 411 016,68 m³

Se ha calculado las reservas totales mediante la siguiente expresión:

$$Rt = \hat{A}[Ac \times ec \times s]$$

Dónde:

- Ac: Área del terreno en m²
ec: Espesor promedio del acuífero saturado en m
Rt: Reservas totales del acuífero en m³
S: Coeficiente de almacenamiento

El espesor del acuífero saturado es:

$$ec = Pb - P_{ne}$$

Dónde:

- Pb: Profundidad promedio del basamento rocoso de cada malla en m

Pne: Profundidad promedio del nivel estático en cada malla en m

i. Reservas Explotables

Se define a las reservas explotables, como los volúmenes de agua subterránea disponible sobre los recursos regulados y las reservas permanentes. Una vez determinada la reserva explotable, se podrá tener un caudal promedio constante, que no perjudique al acuífero en cantidad ni en calidad.

El cálculo de los recursos hídricos explotables es netamente estadístico, debiendo basarse en un gran número de datos de base para un largo periodo de años. En relación al acuífero en estudio, no se cuenta con series estadísticas, debido a que no se ha realizado controles en pozos de observaciones en períodos largos, en consecuencia, no se ha podido definir los años hidrológicos y por ende los niveles máximos y mínimos de cada año. Calcular las reservas en esas condiciones da como resultado valores estimados con poca consistencia.

8. HIDRÁULICA SUBTERRÁNEA

En el presente estudio hidrogeológico, la hidráulica subterránea permite determinar las características hidrofísicas de la formación acuífera y el funcionamiento del acuífero.

Debemos indicar que, dentro de la hidráulica subterránea, uno de sus componentes es la hidrodinámica, la cual estudia el funcionamiento del acuífero y el movimiento del agua en un medio poroso, es decir cuantifica la capacidad de almacenar y transmitir agua.

En este sentido, para determinar las características hidráulicas del acuífero se ha empleado la técnica de evaluación mediante las pruebas de bombeo, metodología empleada para evaluar el acuífero; en condiciones casi naturales.

a. Pruebas de Bombeo o de Acuífero

Consiste en observar los efectos provocados en la superficie freática o piezométrica del acuífero por la extracción de un caudal conocido. Los efectos (abatimientos) son registrados en el pozo de bombeo y en los pozos de observación (pozos cercanos a donde se ejecuta la prueba) o eventualmente piezómetros.

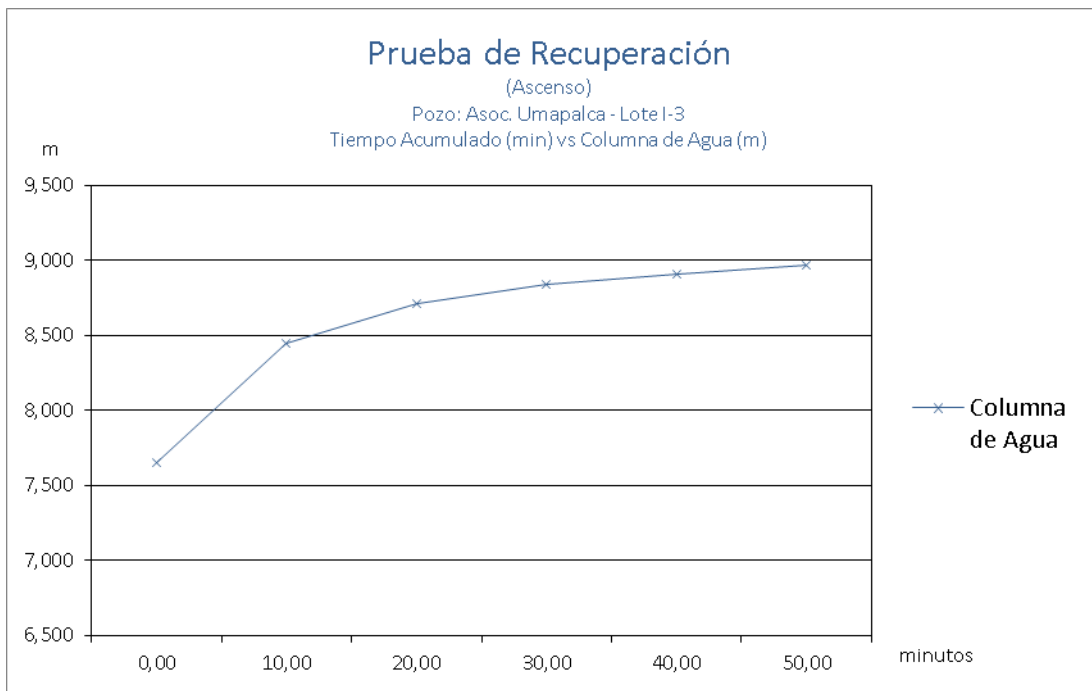
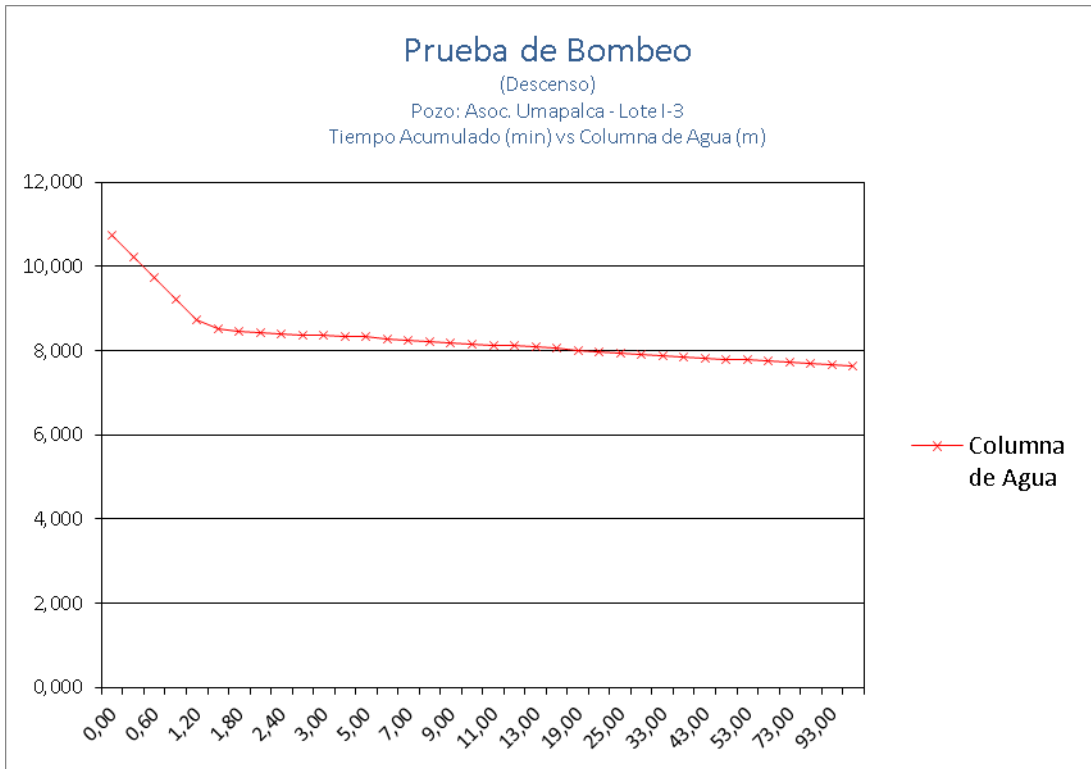
En el presente estudio las pruebas de bombeo tienen como objetivo calcular los parámetros hidráulicos como Permeabilidad (K) y los Coeficientes de Transmisividad (T) y de Almacenamiento (s); cuyo análisis permitirá determinar las condiciones hidráulicas del acuífero.

Debe indicarse que los pozos inventariados no tienen las condiciones técnicas mínimas de equipamiento para la ejecución de una prueba de bombeo o de acuífero como tal, motivo por el cual, sólo se han efectuado pruebas de rendimiento, con sus propias bombas, controlando el caudal bombeado y midiendo el descenso hasta su estabilización y luego controlando la recuperación, la prueba de bombeo propiamente dicha, con un tiempo de duración mínima de 72 horas, de las cuales las primeras 24 horas son con caudal variable y las 48 horas restantes a caudal constante no fue posible realizar.

PRUEBA DE RENDIMIENTO POZO Nº 01

Nº de Inventario 01

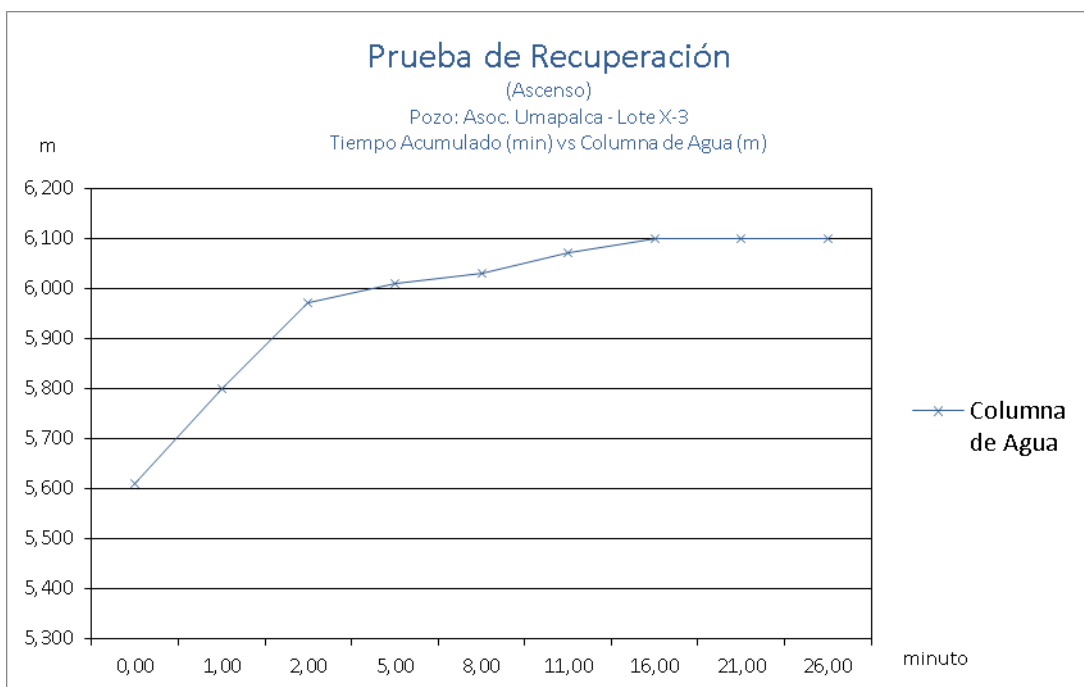
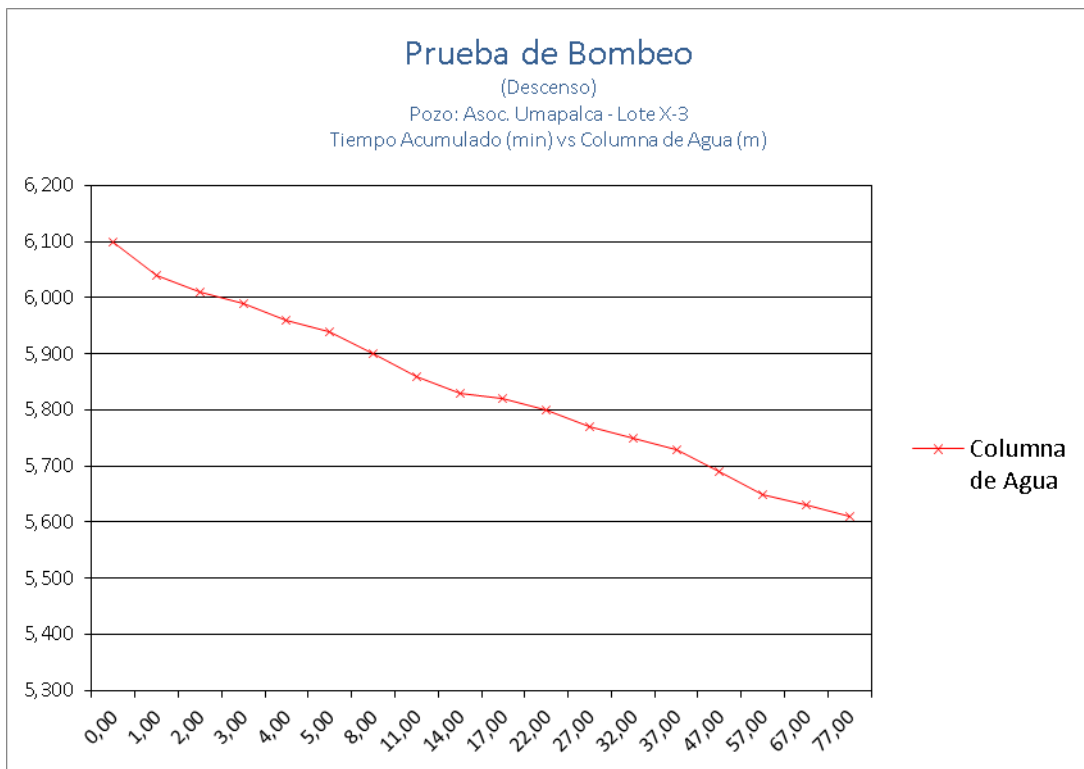
Propietario:	Asociación UMAPALCA
Lote:	I3
Coordenadas:	232210 E y 8178461 N PSAD 56
Fecha:	01-02-2012
Hora de Inicio Bombeo:	09:22 a.m.
Hora de Término:	11,06 a.m.
Duración:	01 hora 44 minutos
Equipo:	Bomba sumergible
Marca:	Pedrollo
Potencia:	3,0 HP
Diámetro de Succión:	2,0"
Diámetro de Impulsión:	2.0"
Energía/Combustible:	Eléctrica
Nivel del Suelo:	2 410,26 msnm
Tipo de Pozo:	Tajo Abierto
Diámetro del ante pozo:	0,00 m
Espesor Revestimiento:	0,15 m
Diámetro Interior del Pozo:	1,20 m
Profundidad del Pozo:	72,00 m
Nivel Estático:	61,27 m
Columna de Agua:	10,73 m
Volumen de Agua:	12,129 m ³
Caudal de Salida:	1,945 l/s
Tiempo de estabilización:	1 hora 44 minutos de bombeo
Tiempo de Recuperación:	50 minutos
Altura de Recuperación:	1,32 m
Caudal de Recuperación:	0,4974 l/s
Capacidad Específica:	0,377 l/s/m
Transmisividad T:	52,78 m ² /día
Transmisividad:	De regular a baja.



PRUEBA DE RENDIMIENTO POZO N° 02

N° de Inventario 04

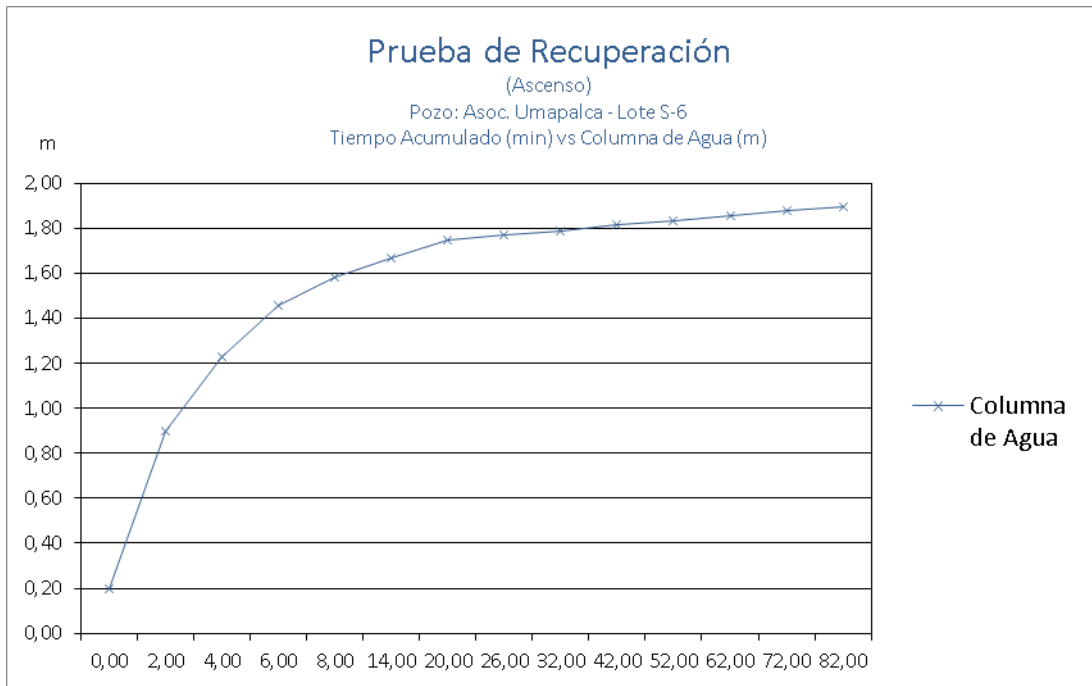
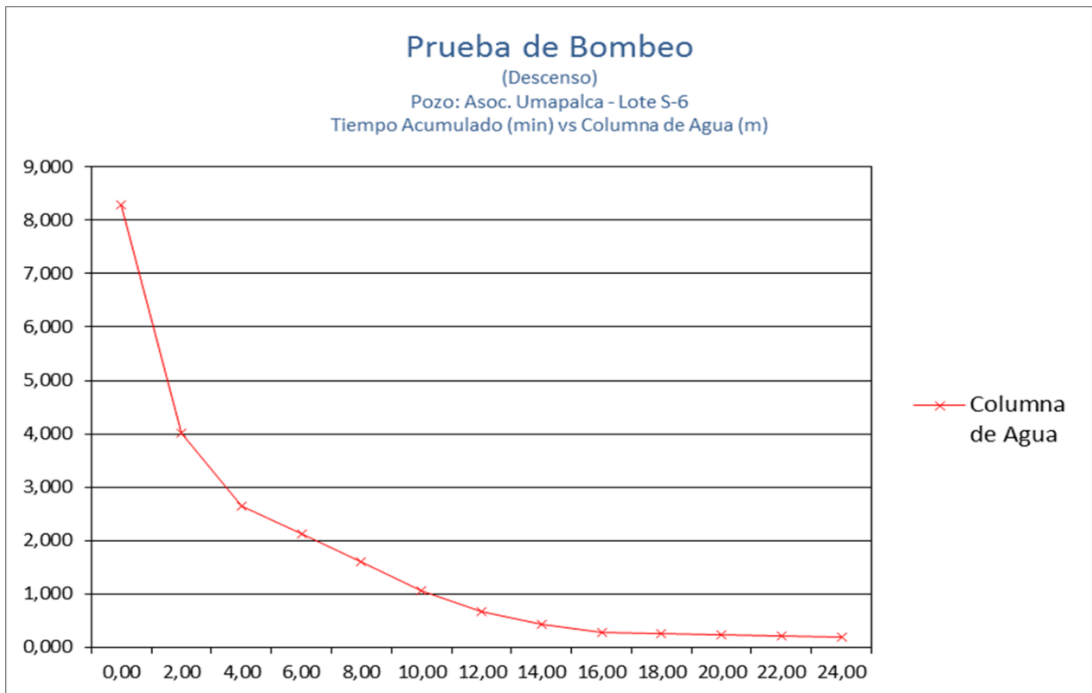
Propietario:	Sr. Jesús Nina Ramos
Lote:	X3
Coordenadas:	231585 E y 8177665 N PSAD 56
Fecha:	01-02-2012
Hora de Inicio Bombeo:	14:50 p.m.
Hora de Término:	16:07 p.m.
Duración:	1 hora 17 minutos
Equipo:	Bomba sumergible
Marca:	Pedrollo
Potencia:	3,0 HP
Diámetro de Succión:	2,5"
Diámetro de Impulsión:	2.5"
Energía/Combustible:	Electica
Nivel del Suelo:	2390,28 msnm
Tipo de Pozo:	Tajo Abierto
Diámetro del ante pozo:	-
Espesor Revestimiento:	0,10 m
Diámetro Interior del Pozo:	1,10 m
Profundidad del Pozo:	54,00 m
Nivel Estático:	47,90 m
Columna de Agua:	6,10 m
Volumen de Agua:	5,794 m ³
Caudal de Salida:	3,28 l/s
Tiempo de estabilización:	01 hora 17 minutos de bombeo
Tiempo de Recuperación:	26 minutos
Altura de Recuperación:	0,49 m
Caudal de Recuperación:	0,2466 l/s
Capacidad Específica:	0,503 l/s/m
Transmisividad T:	70,45 m ² /día
Transmisividad:	De regular a media



PRUEBA DE RENDIMIENTO POZO N° 03

N° Inventario 09

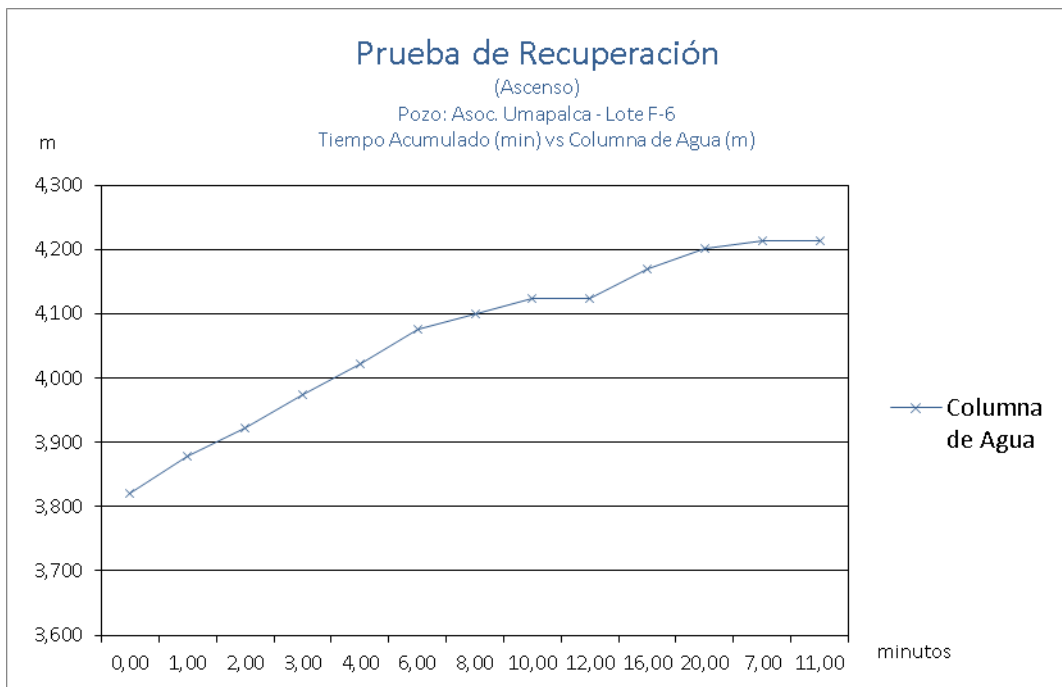
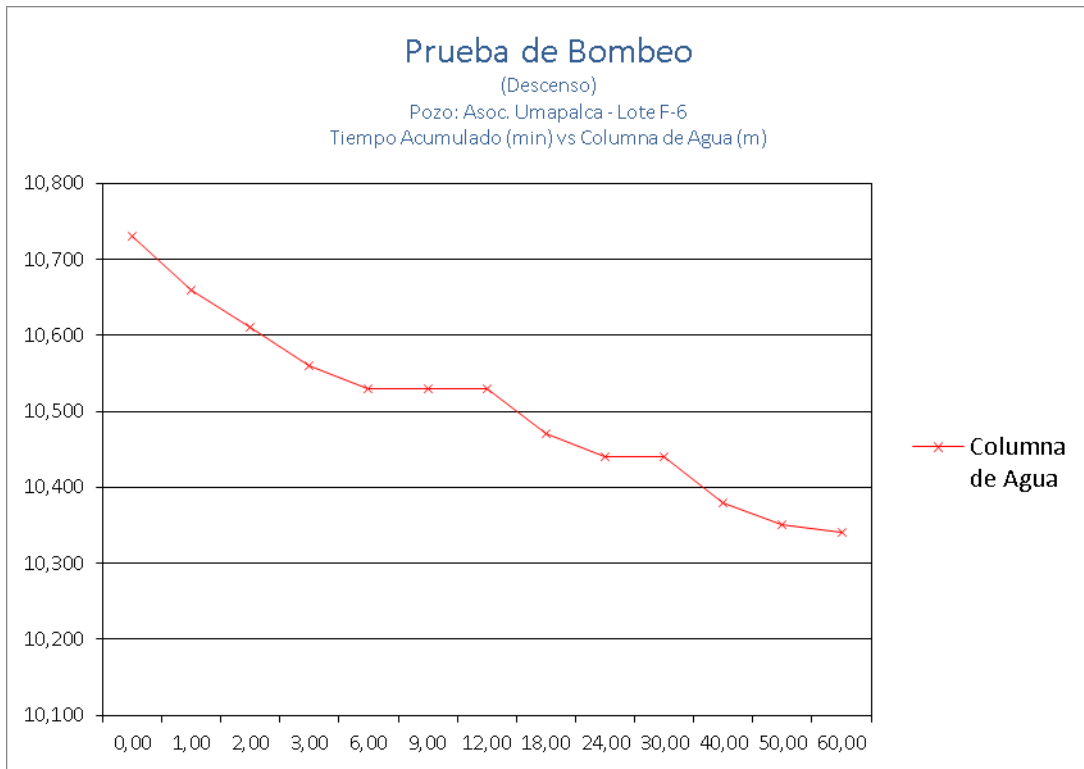
Propietario:	José Roldán Bustinza
Lote:	S6 y S10
Coordenadas:	231 788 E y 8 178 067 N PSAD 56
Fecha:	02-02-2012
Hora de Inicio Bombeo:	08:46 a.m.
Hora de Término:	09:10 a.m.
Duración:	24 minutos
Equipo:	Bomba sumergible
Marca:	Pedrollo
Potencia:	3,0 HP
Diámetro de Succión:	2,5"
Diámetro de Impulsión:	2.5"
Energía/Combustible:	Eléctrica
Nivel del Suelo:	2405,47 msnm
Tipo de Pozo:	Tajo Abierto
Diámetro del ante pozo:	0.00 m
Espesor Revestimiento:	0,10 m
Diámetro Interior del Pozo:	1,00 m
Profundidad del Pozo:	80,0 m
Nivel Estático:	61,72 m
Columna de Agua:	18,28 m
Volumen de Agua:	14,35 m ³
Caudal de Salida:	3,67 l/s
Tiempo de estabilización:	24,00 minutos de bombeo
Tiempo de Recuperación:	1 hora 22 min.
Altura de Recuperación:	1,69 m
Caudal de Recuperación:	0,27 l/s
Capacidad Específica:	0,16 l/s/m
Transmisividad T:	22,37 m ² /día
Transmisividad:	de media a baja



PRUEBA DE RENDIMIENTO POZO N° 04

N° Inventario 10

Propietario:	Carlos Javier Bustamante Smith
Lote:	F6
Coordenadas:	232413 E y 8178027 N PSAD 56
Fecha:	02-02-2012
Hora de Inicio Bombeo:	10:46 a.m.
Hora de Término:	11:46 a.m.
Duración:	01 hora 00 minutos
Equipo:	Bomba sumergible
Marca:	Pedrollo
Potencia:	2,0 HP
Diámetro de Succión:	2,0"
Diámetro de Impulsión:	2.0"
Energía/Combustible:	Eléctrica
Nivel del Suelo:	2411,48 msnm
Tipo de Pozo:	Tajo Abierto
Diámetro del ante pozo:	0.00 m
Espesor Revestimiento:	0,10 m
Diámetro Interior del Pozo:	1,20 m
Profundidad del Pozo:	60,00 m
Nivel Estático:	55,79 m
Columna de Agua:	4,21 m
Volumen de Agua:	4,76 m ³
Caudal de Salida:	2,15 l/s
Tiempo de estabilización:	60,00 minutos de bombeo
Tiempo de Recuperación:	28 min.
Altura de Recuperación:	0,39 m
Caudal de Recuperación:	0,2624 l/s
Capacidad Específica:	0,673 l/s/m
Transmisividad T:	94,20 m ² /día
Transmisividad:	De regular a media



La prueba de rendimiento se realizó hasta que se estabilizó el nivel dinámico del agua en el pozo, midiendo el descenso del nivel del agua y controlando el caudal de salida y el tiempo; los aforos se realizaron empleando un cilindro de 200 litros de volumen, controlando el tiempo de llenado, con lo que fueron calculados los caudales de salida, así mismo se controló el descenso progresivo del agua en el pozo, para poder aplicar la Prueba de **Permeabilidad** por el método del Pozo Abierto, desarrollado por Diserens y modificado por Hooghodt, cuya expresión es la siguiente:

$$K = 0.617 \frac{r\Delta h}{Sd\Delta t}$$

Dónde:

- r: Radio del pozo a tajo abierto en cm
- Δh : Espesor del descenso en cm, en la fracción de tiempo Δt en seg.
- d: Espesor saturado en cm
- S: Función geométrica

La función geométrica S, está dada por:

$$S = \cos \frac{P_i L K_1 \left(\frac{P_i r}{2d} \right)}{2 d K \left(\frac{P_i r}{2d} \right)} + \dots$$

Término de las funciones de Bessel, definida por una sucesión infinita de series, y como resultado de las medidas de recuperación, se tiene la conductividad hidráulica del pozo. Del valor de esta conductividad hidráulica podremos saber si ésta es muy lenta, lenta, moderadamente rápida, rápida y muy rápida, con lo cual tendremos una clara apreciación del comportamiento y respuesta del acuífero.

En las fórmulas que rigen el descenso en el caso estacionario Thiem, De Glee y Dupuit para descensos pequeños, el descenso es proporcional al caudal de bombeo, por ello el cociente entre Q y s es una constante para cada punto de observación en un ensayo, esto sucederá siempre que descenso y caudal tengan un comportamiento lineal, partiendo de la ecuación de Thiem se tiene:

$$\frac{Q}{sp} = \frac{2\pi}{\ln R/rp} T \equiv AT$$

Donde, se puede observar que existe una relación directa entre capacidad específica y transmisividad a través de un factor A que depende del radio del pozo y del radio de influencia.

9. HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO

Los parámetros más importantes que se logran con la prueba de bombeo son el coeficiente de transmisibilidad y el de almacenamiento los que son especialmente importantes porque ellos definen las características hidráulicas del acuífero. El coeficiente de transmisibilidad indica cuánta agua se moverá a través de la formación y el coeficiente de almacenamiento indica cuánta agua está almacenada en la formación con posibilidades de ser removida por bombeo o drenaje. Si estos dos coeficientes pueden ser determinados para una formación particular, se pueden hacer predicciones de gran significado usualmente. Algunas de ellas son la capacidad específica de pozos de diferentes diámetros cuando son bombeados a distintos caudales; el abatimiento en el pozo en cualquier momento después de comenzado el bombeo; y, Las predicciones no se limitan a períodos breves, sino que pueden ser hechas para futuros años de bombeo.

a. Coeficiente de Transmisividad (T)

Es una medida de la capacidad de un acuífero para transmitir agua. Se define como el caudal de flujo de agua en metros cúbicos por día a través de una franja vertical del acuífero de un metro de ancho y que se extiende por todo el espesor saturado bajo la pendiente hidráulica de 100% a la temperatura de 20°C (la unidad es m³/d/m ó m²/d). La transmisividad de un acuífero es igual a la permeabilidad promedio (P) por su espesor.

b. Coeficiente de Almacenamiento (S)

El coeficiente de almacenamiento de un acuífero se define como el volumen de agua que el acuífero libera o absorbe por unidad de superficie

por cambio unitario de presión en la componente normal a esa superficie. Para acuíferos libres “S” es igual a la producción específica del material desaguado durante el bombeo. Para acuíferos artesianos “S” es igual al agua obtenida del almacenamiento por:

- Compresión de una columna de acuífero, y
- Expansión del agua contenida en él. La altura de la columna es igual al espesor del acuífero y la base de la columna es un área unitaria.

El coeficiente de almacenamiento es un término dimensional. Para acuíferos libres (S) varía entre 0.01 y 0.35. Para acuíferos artesianos (S) varía entre 1×10^{-4} y 1×10^{-2} .

c. **Indicaciones de Equilibrio**

Cuando a un pozo se le bombea el agua rendida se deriva inicialmente del almacenamiento del acuífero inmediatamente alrededor del pozo. Esto significa que la forma circular del cono de depresión debe continuar expandiéndose para obtener el agua a distancias mayores. A medida que el cono continúa expandiéndose (lo que significa que el radio de influencia está aumentando) también se hunde para lograr la carga adicional requerida para forzar el agua desde distancias mayores. Sin embargo, esta combinación de expansión y hundimiento del cono se efectúa a un caudal decreciente porque con cada metro adicional horizontal de expansión se dispone de un volumen mayor de agua almacenada que en el metro anterior.

Las fuentes de recarga pueden ser una o más de las siguientes:

- El cono se agranda hasta que intercepta suficiente descarga natural del acuífero para igualar el caudal de bombeo.
- El cono se agranda hasta que intercepta un cuerpo de agua superficial que suplirá completamente el pozo.
- El cono se agranda hasta que haya suficiente recarga vertical por la precipitación sobre el área de la base del cono para igualar el caudal de bombeo.
- El cono se agranda hasta que haya suficiente perforación a través de las formaciones supra y/o infrayacentes para igualar el gasto del pozo.

Cuando el cono ha cesado su expansión debido a una o más de las razones señaladas, existe una condición de equilibrio. Cuando esto ocurra no hay incrementos en abatimiento con aumento en el tiempo de bombeo. En algunos pozos el equilibrio se alcanza dentro de algunas horas después del comienzo del bombeo y en otros no ocurre aún a través de períodos de bombeo de años. Las siguientes suposiciones fueron hechas para derivar las fórmulas:

- El material del acuífero es del mismo carácter (permeabilidad constante), en toda el área del cono de depresión.
- El acuífero no está estratificado.
- El acuífero tiene espesor constante.
- El pozo bombeado es 100% eficiente.
- El pozo bombeado penetra hasta el fondo del acuífero.
- El nivel estático no tiene pendiente, por tanto, es una superficie horizontal.
- Existe flujo laminar en toda el área del cono de depresión.
- El cono de depresión ha cesado de expandirse por tanto el abatimiento (S) y el radio de influencia (o radio del cono de depresión, R) son constantes con respecto al tiempo o aumento en el período de bombeo.

10. HIDROGEOQUÍMICA

El agua extraída del acuífero que subyace en la zona de estudio, según las muestras de agua analizadas en el laboratorio, tienen los siguientes resultados: pH 7,68 a 8,21 lo que indica que son aguas ligeramente a medianamente alcalina y la dureza expresada en términos de sólidos disueltos totales es de 924,00 a 1259 mg/l, significa que es un agua de dureza alta (muy dura).

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir electricidad. En el caso que nos ocupa, las muestras de agua analizadas en laboratorio tienen valores de salinidad entre 1.279 y 1.93 mmhos/cm a 25°C, siendo aguas con ligera salinidad.

En lo referente a la calidad bacteriológica del agua, se tomaron muestras de agua de los pozos 01 y 05, las muestras fueron tomadas según el protocolo especificado por DIGESA, luego fueron refrigeradas y llevadas al laboratorio antes de 3 horas. Las muestras del pozo 01 no presenta coliformes totales ni

fecales, la muestra del pozo 05 exhibe contenido 14/100 ml de coliformes totales pero no registra coliformes fecales. En conclusión, para su consumo por humanos se recomienda previamente el tratamiento de potabilización.

11. USO DEL AGUA CAPATADA DEL SUBSUELO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MINERAL

El estudio hidrogeológico muestra que existe agua en el subsuelo en volumen suficiente para atender el requerimiento de una planta de tratamiento de mineral. En función de esta información, la etapa siguiente consiste en el diseño de la referida planta a nivel de detalle, incluida la evaluación de factibilidad económica, ambiental y las valoraciones señaladas en la normatividad aplicable.

La propuesta inicial comprende la instalación de la planta, cuyos procesos se inician con el ingreso del mineral proveniente de la pequeña minería al circuito de chancado y trituración, la clasificación se realizaría en una zaranda vibratoria. El producto de mallas de finos va a la tolva de finos que alimenta al circuito de molienda-clasificación y la pulpa de mineral formada es alimentada al circuito de celdas de flotación para que mediante flotación por espuma obtener los concentrados correspondientes. Mientras que el relave es depositado en cancha de relave. El diseño y formulación final del proyecto deberá determinar las capacidades en los circuitos tanto de trituración, molienda y flotación, así como el work index del mineral para establecer el consumo de energía y agua en cada etapa del proceso.

12. RESULTADOS

- a. El estudio ha permitido determinar la existencia de un acuífero en cuatro estructuras, conformadas geológicamente por Flujos de Lodo, presentando diferentes grados de compactación y tamaño.
- b. La cuarta estructura, constituye la estructura acuífera, cuya geometría no es uniforme, presentando zonas favorables y desfavorables para la extracción del agua subterránea, existiendo una adecuada recarga.
- c. El quinto horizonte se comporta como la estructura impermeable.

- d. De acuerdo a los valores de transmisividad, como resultado de las pruebas de bombeo, los materiales que conforman la estructura acuífera presentan regular facilidad al paso del agua.
- e. Se concluye que es posible establecer un régimen de explotación a partir del acuífero subterráneo estudiado para satisfacer la demanda hídrica del proyecto de Instalación de planta de tratamiento de mineral de oro, sin embargo, es necesario establecer un sistema de control medio ambiental con el fin de no sobreexplotar y/o contaminar el acuífero.
- f. Como conclusión final del estudio realizado se tiene que el acuífero existente es bueno, pero que se debe usar el agua de manera eficiente, a fin de no agotarlo y darle vida útil más larga y que con ese criterio se debe dar continuidad al estudio de ingeniería de detalle del proyecto de la planta.

13. BIBLIOGRAFIA

ESTEBAN M. DOMINIC, *Hidrometalurgia. Fundamentos, Procesos y Aplicaciones*. 2001.

JOERG WERNER, *Hidrogeología*. 1996.

MARÍA P. COLLAZO CARABALLO, *Manual de Aguas Subterránea*. 2012.

CARLOS GAMA BELTRÁN, *Estudio de Demanda de recursos Hídricos en la Pampa Umapalca, distrito de Socabaya, Provincia y Región Arequipa*. 2008.