



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

**“Disponibilidad hídrica subterránea con fines de riego  
en el fundo Nuevo Miraflores, sector Tierra Rajada,  
distrito de Olmos, provincia y departamento de  
Lambayeque”**

*Para obtención del título profesional de:*  
***INGENIERO (A) AGRÍCOLA***

*Autor (es):*

Bach. Cinthia María Lozano Ventura

Bach. Edwar Omar Antón Quiroz

*Asesor:*

M.Sc. Jannier A. Sánchez Ayén

Lambayeque -Perú  
2021



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

**"Disponibilidad hídrica subterránea con fines de riego  
en el fundo Nuevo Miraflores, sector Tierra Rajada,  
distrito de Olmos, provincia y departamento de  
Lambayeque"**

*Para obtención del título profesional de:*  
**INGENIERO (A) AGRÍCOLA**

**Autor (es):**

**Bach. Cinthia María Lozano Ventura**

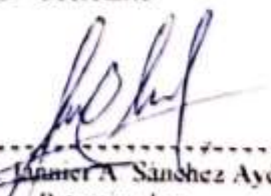
**Bach. Edwar Omar Antón Quiroz**

**Aprobado por:**

  
-----  
**M.Sc. Jorge Cumpa Reyes**  
Presidente

  
-----  
**Dr. Henry Dante Sánchez Díaz**  
Vocal

  
-----  
**M.Sc. Juan Hernández Alcántara**  
Secretario

  
-----  
**M.Sc. Janner A. Sánchez Ayén**  
Patrocinador

# INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.0 Realidad problemática.....	2
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Formulación del problema .....	3
1.3 Justificación e importancia del estudio .....	3
1.4 Objetivos .....	4
II. MARCO TEORICO .....	5
2.1 Antecedentes de estudio .....	5
2.2 Revisión Bibliográfica.....	7
2.3 Base Teórica.....	9
2.3.1 Hidrología Subterránea.....	9
2.3.2 Acuífero.....	13
2.3.3 Geoeléctrica.....	26
III. MATERIALES Y METODOS .....	33
3.1 Características de la zona de Estudio .....	33
3.1.1 Ubicación .....	33
3.1.2 Acceso .....	34
3.1.3 Geología .....	34
3.1.4 Geomorfología .....	36
3.2 Metodología.....	38
a) Prospección Geofísica.....	38
b) Hidrodinámica subterránea .....	42
c) Hidrogeoquímica.....	43
d) Balance Hídrico.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	47
4.1 Prospección Geofísica .....	47
4.1.1 Secciones geoeléctricas .....	48
4.1.2 Espesor del horizonte permeable saturado .....	50
4.1.3 Resistividad del horizonte permeable.....	51
4.1.4 Basamento rocoso impermeable.....	51

4.2 Napa freática.....	51
4.3 Inventario de pozos y fuentes de agua .....	52
4.4 Hidrodinámica subterránea.....	52
4.5 Hidrogeoquímica.....	52
4.6 Balance Hídrico .....	53
V. INGENIERIA DEL PROYECTO .....	56
5.1 Propuesta de punto de captación .....	56
5.1.1 Ubicación .....	56
5.1.2 Diseño preliminar de pozos.....	56
5.1.3 Diseño físico de pozos.....	57
5.1.4 Planilla de metrados .....	59
5.2 Especificaciones técnicas .....	63
5.2.1 Método de perforación .....	63
5.2.2 Etapas de la perforación del pozo .....	63
5.3 Modelo Conceptual .....	67
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
6.1 Conclusiones .....	69
6.2 Recomendaciones.....	70
VII. BIBLIOGRAFIA .....	71
ANEXOS.....	73

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi madre LILIA QUIROZ MONTALVO quién fue la forjadora de lo que ahora soy... Te amo madre y siempre te llevaré en mi corazón.

**Edward Omar A.**

A Dios y a mis adorados padres; Demetrio y Yenny, pilares fundamentales de mi vida, les dedico con mucho amor todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo su apoyo incondicional puesto en mí para ser la persona que soy ahora. Su Bendición a diario que me guía por el camino del bien.

**Cinthia María L.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios omnipotente que no nos ha dejado desfallecer en este arduo camino; a nuestros padres por guiarnos con sus sabios consejos y desarrollar nuestras capacidades con éxito, gracias por su apoyo y fortaleza necesaria para seguir adelante.

Asimismo:

Agradecidos con nuestro patrocinador y con los miembros del jurado que gracias a sus sugerencias y recomendaciones se llegó a concluir este trabajo de investigación y así poder seguir cumpliendo con una de las metas que hemos tenido en mente.

## RESUMEN

El presente estudio se desarrolla en el fundo Nuevo Miraflores perteneciente al sector Tierra Rajada, Distrito de Olmos, Provincia y departamento de Lambayeque. Actualmente el fundo está constituido por 70 hectáreas de área cultivable queriéndose instalar el cultivo de cebolla y paprika. Se ha creído conveniente recurrir al abastecimiento de agua subterránea debido a la inexistencia de una fuente superficial cercana. Es por ello que resulta necesario conocer previamente las características hidrogeológicas del acuífero y analizar la factibilidad de perforar pozos tubulares. Para poder obtener información se llevaron a cabo estudios como Prospección geofísica, hidrodinámica subterránea, hidrogeoquímica y balance hídrico. Luego de haber realizado los estudios mencionados se han obtenido los siguientes resultados: Los resultados cuantitativos encontrados han permitido establecer que de los 9 SEV's realizados, los pozos pueden ser perforados en las inmediaciones de los SEV N° 02, 06 y 09. La zona de estudio se encuentra ubicada sobre sedimentos pocos permeables, eólicos y aluviales del acuífero libre. La roca basamento no se ha detectado, por lo tanto, indicamos que después del último horizonte (Capa de estrato de arcilla) es posible encontrarlo, que puede ser después de los 200 metros de profundidad. La conductividad eléctrica de la muestra de agua es de 1260.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  clasificándose como Agua con riesgo de salinidad ALTA con una clasificación de C3 pudiéndose utilizar para regar suelos bien drenados, utilizando grandes volúmenes de agua para el lavado del suelo e instalar cultivos que toleren la salinidad. Los valores de los parámetros hidrodinámicos son los siguientes:  $T = 137.8 \text{ m}^2/\text{día}$ ,  $K = 2.05 \text{ m}/\text{día}$ ,  $\mu = 3 \times 10^{-3}$ . Existe una disponibilidad hídrica en la zona, con un superávit de 1,445,200  $\text{m}^3/\text{año}$ , lo que genera una seguridad para el desarrollo de la actividad de la empresa a través del funcionamiento de los 3 pozos proyectados.

**Palabras claves:** Hidrogeología, Hidrodinámica subterránea, Prospección geofísica.

## ABSTRACT

This study is developed in the Nuevo Miraflores farm belonging to the Tierra Rajada sector, Olmos District, Province and department of Lambayeque. Currently, the farm is made up of 70 hectares of cultivable area, wanting to install the cultivation of onion and paprika. It has been considered convenient to resort to the underground water supply due to the absence of a nearby surface source. That is why it is necessary to previously know the hydrogeological characteristics of the aquifer and analyze the feasibility of drilling tube wells. In order to obtain information, studies such as geophysical prospecting, underground hydrodynamics, hydrogeochemistry and water balance were carried out. After having carried out the aforementioned studies, the following results have been obtained: The quantitative results found have made it possible to establish that of the 9 SEV's carried out, the wells can be drilled in the vicinity of SEV No. 02, 06 and 09. The area of study is located on low permeable, eolic and alluvial sediments of the free aquifer. The basement rock has not been detected therefore, we indicate that after the last horizon (layer of clay stratum) it is possible to find it, which can be after 200 meters of depth. The electrical conductivity of the water sample is 1260.0  $\mu\text{S} / \text{cm}$ , classifying it as Water with a HIGH salinity risk with a classification of C3 that can be used for irrigation of well-drained soils, using excess volumes of water to wash the soil and using crops very tolerant to salinity. The values of the hydrodynamic parameters are the following:  $T = 137.8 \text{ m}^2 / \text{day}$ ,  $K = 2.05 \text{ m} / \text{day}$ ,  $\mu = 3 \times 10^{-3}$ . There is water availability in the area, with a surplus of 1,445,200  $\text{m}^3 / \text{year}$ , which generates security for the development of the company's activity through the operation of the 3 projected wells.

**Keywords:** Hydrogeology, Underground hydrodynamics, Geophysical prospecting.



# I. INTRODUCCIÓN

Se tiene el concepto o la creencia que el agua es un elemento infinito debido a que nuestro planeta se encuentra mayormente conformado por agua. Sin embargo, esto es totalmente contradictorio debido a que del 100% de agua de nuestro planeta el 98% es de agua salada correspondiente a los mares y el 2% restante corresponde a agua dulce. Pero de este último porcentaje la mayor parte de agua se encuentra congelada en glaciares y solo una minúscula parte (0.3%) se encuentra disponible o a disposición para consumo humano y/o para otras actividades (López, C. *et all.*, 2017).

Grandes volúmenes de agua dulce se encuentran en el subsuelo cuya importancia radica en abastecer a las diferentes actividades agrícolas o de otra índole cuando el agua superficial no es lo suficientemente basto para abastecer las diferentes necesidades. Cabe recalcar que la demanda de agua subterránea ira aumentando mientras el agua superficial se haga cada vez más escaso. El cambio climático puede ser un factor importante que afecte la disponibilidad de los recursos hídricos y por ello debemos explotarlo de manera racional y sostenible (Carbajo, K., 2015).

El Perú es uno de los países en el que, en su región costera, el agua superficial es escasa, debido a la casi nula precipitación pluvial. La disponibilidad de este tipo de agua en la costa, depende a las precipitaciones caídas en la región sierra y que drenan a la cuenca del Océano Pacífico. Esta es la razón por la cual el agua complementaria que se usa en las diferentes actividades y en los diferentes usos, proviene de los acuíferos o depósitos naturales de agua subterránea.

Los terrenos en donde se desarrolla el presente estudio pertenecen al fundo Nuevo Miraflores y se encuentran ubicados en el sector Tierra Rajada, Distrito de Olmos, Provincia y departamento de Lambayeque.

## **1.0 Realidad problemática**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El incremento poblacional está originando una cierta presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial esto debido al incremento de la demanda para uso poblacional y para las distintas actividades productivas. Caso contrario es la oferta o disponibilidad de agua; esta va disminuyendo por la explotación indiscriminada de los recursos hídricos tal es el ejemplo de agriculturas intensivas que, a través de la aplicación de pesticidas, están contaminando los flujos de agua subterránea u otras actividades como la minería, industrial, etc. De ahí la importancia de poder preservar la calidad y cantidad de agua y no ser agentes pasivos ante la problemática que afecta la subsistencia humana. Si bien el agua subterránea supone un apoyo ante la poca disponibilidad de agua superficial, pero hay que tener en cuenta que una explotación irracional originara el agotamiento de las reservas, tardando muchos años en volver a recuperarse o restablecerse.

El Fundo Nuevo Miraflores actualmente cuenta con 70 hectáreas de las cuales se proyecta utilizar 20 hectáreas para cebolla y 50 hectáreas para paprika. Al no existir una fuente de abastecimiento de agua superficial cercana a la zona de estudio, se prevé utilizar el agua subterránea como única fuente de abastecimiento. Es por ello que se requiere perforar 3 pozos siendo necesario e imprescindible el aprovechamiento del agua subterránea del acuífero de la zona, por ello es importante conocer las características hidrogeológicas del acuífero que permitan abastecer de riego a los cultivos, así como proveer agua para los servicios domésticos.

## **1.2 Formulación del problema**

*¿Cuál es el volumen de agua que se puede extraer del acuífero del fundo Nuevo Miraflores, para una explotación racional y sostenida de este recurso con fines de riego?*

## **1.3 Justificación e importancia del estudio**

Una de las características las zonas costeras del Perú es su aridez debido a sus aguas frías producto de la presencia de la corriente peruana o corriente de Humboldt. Estas aguas frías sumando a la presencia de la cordillera de los Andes impiden que se formen las denominadas nubes tipo Cumulonimbus que son las que originan grandes descargas de precipitaciones. Ante la falta o poca presencia de precipitaciones por lo descrito anteriormente son importantes las descargas de los ríos provenientes de la sierra que ayudan a tener importantes centros agrícolas en las regiones costeras del Perú.

Pero ante los inminentes efectos del cambio climático, que está causando que las descargas provenientes de la sierra sean cada vez más bajas, y sumando a esto que por la zona de estudio no existe infraestructura hidráulica (canales de riego) que permita captar las aguas; es por ello de la importancia de recurrir a la exploración de acuíferos y permitir el desarrollo de la actividad agrícola en el fundo Nuevo Miraflores.

El proyecto permitirá conocer las características del acuífero y determinar la factibilidad de su explotación, determinando así la disponibilidad potencial hídrica subterránea en el acuífero del Fundo Nuevo Miraflores para fines agrícolas y otros usos complementarios. Además permitirá incrementar las áreas bajo riego a 70 hectáreas de cultivo de cebolla (*Allium cepa*) y paprika (*Capsicum annuum*).

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Determinar la disponibilidad hídrica subterránea con fines de riego en el fundo Nuevo Miraflores, Sector Tierra Rajada, Distrito de Olmos, Provincia y Departamento de Lambayeque.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar las características geológicas – geomorfológicas del área de estudio.
- Conocer las características de las capas del subsuelo según sus resistividades eléctricas.
- Determinar los parámetros Hidrodinámicos e Hidrogeoquímicos del agua subterránea.
- Realizar el Balance oferta – demanda en las situaciones con y sin proyecto.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes de estudio

#### **A nivel internacional**

**Ibañez, J. y Sandoval, C., (2015)** en su estudio “DISEÑO DE SISTEMAS DE POZOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA: CASO DE ESTUDIO LA MOJANA” concluye lo siguiente:

*En el acuífero de Morroa se han realizado estudios y sondeos, necesarios para diseñar preliminarmente un pozo y captar sus aguas. El estudio hidrogeológico realizado determino que la profundidad del pozo sea de 70 metros, 10 pulgadas de diámetro y un entubado en 6 pulgadas. La finalidad del uso de este pozo es netamente agropecuario, considerando también que de acuerdo al análisis bacteriológico, la calidad de las aguas del acuífero Morroa se encuentran óptimas para el riego de cultivos.*

**Barelli, E., (2011)** en su estudio: “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN UN SECTOR DEL CAMPO BARE, ESTADO ANZOÁTEGUI” recomienda lo siguiente:

*Realizar un mapa en el que se muestre la distribución de permeabilidades de la zona de estudio, y en base a ésta distribución será posible identificar las zonas de recarga y descarga. Todo lo cual, se deberá hacer sobre la base de la información local que aporta el mapa topográfico Atapirire I-SO, escala 1:25.000, de Cartografía Nacional, en cuanto a coordenadas y curvas de nivel de la zona de estudio se refiere*

#### **A nivel Nacional**

**Romero, J., (2019)** en su estudio: “ESTUDIO GEOELÉCTRICO Y PLANTEAMIENTO DE EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL FUNDO LA VICTORIA – UNC” determinó lo siguiente:

*Los estratos geológicos están conformados por las arenas, arcillas y gravas. Se ha determinado en función a los 20 SEVs que se han ejecutado en la zona de estudio. Los valores de las resistividades están en el rango de 5.28  $\Omega$ -m hasta 386.15  $\Omega$ -m donde el primero corresponde a arcillas saturadas y el segundo valores a roca dura.*

**Chávez, F. (2017).** En su trabajo de investigación: “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA SUSTENTAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA PARA POZO TUBULAR DE REEMPLAZO - MONSANTO PERÚ - VILLACURI – ICA” establece lo siguiente:

*Luego de realizar 03 sondeos electroverticales de determinó que el acuífero es del tipo libre y que la zona de estudio es propicia para extraer agua subterránea con caudales entre 40 – 50 l/s, y con una profundidad para el pozo tubular de 130m y un diámetro de 15 pulgadas. Además, en cuanto a la hidrogeoquímica del agua, esta se clasificó en clorurada cálcica y según la clasificación para riego es de salinidad alta, apta para suelos con buen drenaje y escaso contenido de sodio.*

#### **A nivel Local**

**INRENA, 2004.** Estudio: “MONITOREO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL VALLE OLMOS” se establece lo siguiente:

*En el valle Olmos la napa freática fluye principalmente de Noreste Suroeste según un gradiente hidráulico promedio de 0.70%. En cuanto a las fluctuaciones del nivel freático respecto al control efectuado en el 2003, un descenso de 4.04m en promedio de la napa en el 66% de los pozos evaluados y un ascenso de 3.29m en promedio del 34% de los pozos evaluados. La cantidad de sales encontrada en el análisis de agua es baja lo que la califica como buena a aceptable para el riego. El valor del pH varía de 6.4 a 9.46 el cual indica que el agua subterránea se encuentra ligeramente ácida a alcalina.*

**Núñez, S. et al., (2006).** ESTUDIO GEOAMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RIO CHANCAY – LAMBAYEQUE. Sostiene lo siguiente:

*La zona acuífera del valle Chancay –Lambayeque se clasifica como un acuífero secundario que es abastecido por acuíferos primarios que son recargados por las constantes precipitaciones que sobrepasan los 1200mm en las partes altas.*

*De acuerdo al análisis de la calidad del agua del valle, en lo que se refiere a conductividad eléctrica, los valores están en el rango de 0,38 - 2,83 mmhos/cm que indican aguas de bajo contenido de mineralización. Los valores del pH están entre 6.6 a 8.0 lo que nos indica que son ligeramente ácidas y de baja alcalinización. Considerando estos y otros parámetros, la calidad del agua del valle chancay es óptima para fines agrícolas.*

## **2.2 Revisión Bibliográfica**

➤ **Ordoñez, J. (2011).** Sostiene que: “El agua subterránea es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales”.

Acerca de un acuífero lo define como: “Es un volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua. El agua subterránea que se halla almacenada en los acuíferos es una parte importante del ciclo hidrológico. Se han realizado estudios que permiten calcular que aproximadamente el 30 por ciento del caudal de superficie proviene de fuentes de agua subterránea”. Los acuíferos los podemos clasificar en:

- Acuíferos libres. Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.

- **Acuíferos confinados.** Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos.
- **Acuíferos semiconfinados.** Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua.

➤ **Vélez, M. (1999).** Sostiene que: “El agua subterránea es utilizada para el abastecimiento de agua potable, tanto en viviendas individuales, como en aglomeraciones urbanas, en proyectos agropecuarios para riego y para uso animal; igualmente, muchas industrias consumidoras de grandes cantidades de agua hacen uso de este recurso. Uno de los aspectos que hacen particularmente útil el agua subterránea para el consumo humano es la menor contaminación a la que está sometida y la capacidad de filtración del suelo que la hace generalmente más pura que las aguas superficiales. Además, que este recurso es poco afectado por períodos prolongados de sequía”.

➤ **Reyna T. (2010).** Define al acuífero como: “Formación suficientemente permeable para transmitir agua en cantidades. Los acuíferos más comunes son aquellos de material no consolidado como arenas o gravas. Estos se encuentran en valles aluvionales, dunas o depósitos glaciales”.

Hay dos tipos de acuíferos: acuíferos confinados y acuíferos no confinados.

Los acuíferos no confinados no tienen ningún manto impermeable por encima de ellos, mientras que los acuíferos confinados tienen por encima algún manto impermeable, por ejemplo un manto de arena entre dos mantos de arcilla.



Si los mantos que confinan son suficientemente permeables para transmitir agua verticalmente pero no para transmitir agua lateralmente los mismos se denominan acuitardos.

Mientras que en el caso de no permitir ningún tipo de flujo se denominan acuicludos. En los confinados, la forma de determinar la superficie piezométrica es a través del nivel de agua en piezómetros instalados para tal efecto.”

➤ **Bellino, N. (2012).** Afirma que: “La permeabilidad es una característica del medio poroso y depende de la porosidad eficaz la que a su vez es proporcional al tamaño del grano (granulometría) del material que compone el acuífero, así como de la homogeneidad del mismo. Un material de granulometría homogénea poseerá una mayor permeabilidad que otro con tamaños de grano heterogéneos. Así en la práctica los mejores acuíferos en cuanto a su producción son aquellos compuestos por granos de arena de grano grueso y uniforme sin intercalación o mezcla con arcilla”.

➤ **Espinoza, C. (2004).** Indica que: “Los Pozos de bombeo son uno de los más importantes aspectos de la hidrogeología aplicada. Los Pozos son usados para la extracción de agua para consumo doméstico, industrial y de riego. Asimismo, pozos han sido usados para controlar la intrusión salina, para hacer descender el nivel freático de un sector en construcción, así como para la eliminación de sustancias contaminantes presentes en un sistema acuífero. Los Pozos son usados periódicamente para inyectar o recargar aguas limpias, así como para disponer aguas contaminadas en sectores seguros”.

## **2.3 Base Teórica**

### **2.3.1 Hidrología Subterránea**

Cuando se dan las precipitaciones el agua va hacia los lagos, ríos, quebradas a través de las escorrentías superficiales. Pero parte también de esta agua que cae se infiltra produciéndose escorrentías subsuperficiales o subterránea que sirven de recarga a los acuíferos y a manantiales y/o mares (Fuentes, J., 1992)

La sensibilidad a la contaminación, la sobre explotación son amenazas a las que están expuestos las aguas del subsuelo y es por ellos que dificulta su gestión. Hay que tener en cuenta que estas aguas subterráneas son una fuente importante de agua dulce a nivel global pero que sin embargo su uso está destinado a actividades agrícolas e industriales (Mori, I. y Ramos, J., 2019).

#### **A) Diferencias entre las aguas superficiales y subterráneas**

(Fuentes, J., 1992)

- El desplazamiento de las aguas subterráneas es más lento a comparación de las aguas superficiales que pueden llevar a una velocidad de desplazamiento del orden de las 100,000 veces.
- El almacenamiento del agua subterránea es mucho mayor que el volumen que circula superficialmente.
- Las aguas subterráneas ocupan grandes extensiones mientras aguas superficiales discurren a un número pequeño de ríos.
- En cuanto a las variaciones de caudal, las aguas superficiales experimentan grandes cambios a diferencia de las aguas subterráneas que son muy pequeñas las variaciones.

#### **B) Distribución del agua subterránea**

Las aguas superficiales se infiltran en el terreno por los poros y las grietas del suelo, hasta llegar a una cierta profundidad en donde todos los huecos están llenos de agua. Esta zona se llama zona de saturación o capa freática. Su límite superior se llama superficie de saturación o superficie freática.

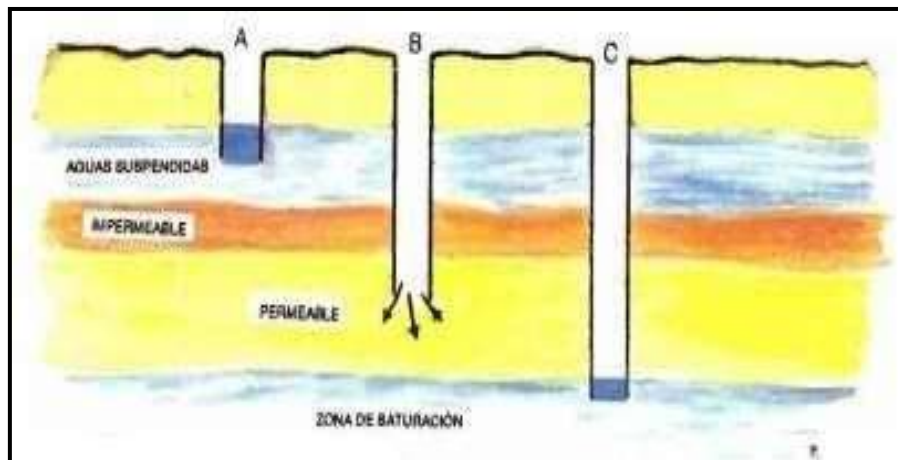
La zona de aireación comprende el área por donde el agua se infiltra y el vapor tiende a salir hacia la atmosfera. Esta zona de aireación limita con la zona de saturación y la superficie del suelo. Debido a los pequeños intersticios presentes en el terreno, el agua presente en la zona de saturación asciende por capilaridad que, según el tipo de terreno, forma una franja capilar de distinto espesor. Esta franja es visible en ríos de orillas arcillosas con sobretodo en taludes con poco contenido de vegetación. La presencia de esta franja capilar supone a los perforistas que se está próximo a llegar a la zona de saturación (Fuentes, J., 1992).

El agua que se encuentra en la parte más profunda de la zona de saturación puede ser igual o más salada que el agua de mar debido a que esa se encuentra a una profundidad de más de 10,000 metros y suele estar estancada. Por ejemplo, en estudios de sondeos petrolíferos, el agua aprovechable proviene de la parte superficial que se renueva por una circulación lenta ocasionado el lavado de las sales excedentes disueltas.

También podemos encontrar agua a pocos metros de la superficie del suelo. Este tipo de agua se denominan *aguas suspendidas*, y estas se encuentra en un suelo saturado de bajo espesor que limita con la superficie del suelo. En la figura 1 se observa como la capa impermeable retiene las aguas suspendidas. Cuando se perfora un pozo(A) y este llega solo hasta la zona de aguas suspendidas, el caudal que suministrará será muy poco. El pozo B de la figura 1 que llega hasta la zona permeable, tiende a secarse debido a que el agua se sale por el estrato permeable del lecho. Todo lo contrario, sucede si se llega al estrato de saturación como es el caso del pozo C. Aquí el caudal con el que florece el agua es alto debido a la presión a la que está sometida el agua (Fuentes, J., 1992).

**Figura 1.**

*Aguas suspendidas retenidas por una delgada capa impermeable*



**Nota.** Fuente: Fuentes, J., 1992

### **C) Origen**

El origen de las aguas subterráneas se dan producto de las precipitaciones que caen en un determinado lugar ya sea en forma de nieve o lluvia que luego de una infiltración profunda, llegan hacia los estratos o zonas hidrogeológicas (Mori, I. y Ramos, J., 2019)

En un paso intermedio, las películas de agua cubren las partículas solidadas pero el aire está todavía presente en las zonas porosas del suelo. Esta zona es llamada zona insaturada o de aireación, y el agua presente es agua gravitacional.

El tránsito o movimiento de las aguas subterráneas y el tipo de acuífero son determinados por la estructura del suelo y la porosidad. El agua se puede desplazar y almacenar en diferentes estratos geológicos ya sea en fisuras de rocas, arenas, aluvión, etc. Las calizas son rocas compactas de fisuras grandes (Soto, A., 13, 2013).

### **D) Calidad del agua subterránea**

Estas aguas se caracterizan por no presentar bacterias ni sedimentos en suspensión. No presenta color y los valores de temperatura no son variables. Todo lo contrario, con las aguas superficiales las cuales están expuestas a bacterias, son turbias requiriendo ser

tratadas según el tipo de uso que se le dé. Es por ello que la calidad de las aguas subterráneas es superior a las superficiales (Concha, J. y Guillen, J., 39, 2014).

El movimiento es un factor que influye en la calidad química del agua. La lentitud por ejemplo origina que los minerales que conforman la cubierta terrestre se añadan a la solución (Mori, I. y Ramos, J., 2019).

Las propiedades más importantes y que son de suma importancia para los usuarios de agua proveniente de pozos son las siguientes: conductividad, pH, dureza, alcalinidad, coliformes totales. En lo que respecta a sustancias químicas que se debe tener en cuenta en cuanto al análisis de la calidad del agua son: nitratos, sulfatos, cloruros, hierro, sílice, dióxido de carbono y manganeso

### **2.3.2 Acuífero**

Son estratos subterráneos que contienen agua. La característica principal de un acuífero es que almacena y transmite el agua en volúmenes o cantidades aptas para una extracción económica. El tipo de material influye en la transmitividad tal es el caso de formaciones arcillosas que si bien es cierto almacenan grandes volúmenes de agua, no son transmisibles son facilidad y debido a esto no se toman en cuenta como acuíferos. Los acuíferos se consideran como embalses con caudales de entrada, salida y con cabida para almacenar y regular (Fuentes, J., 1992).

Se considera como caudal de entrada, al agua que proviene de las precipitaciones, aguas residuales, recargas producto de aplicaciones de riego, etc. Se consideran como caudales de salida a los aportes de agua subterránea que confluyen hacia manantiales, ríos o mares. Se consideran también los bombeos en cuanto a los acuíferos explotados por la actividad humana

El volumen, la fisuración y la porosidad definen la capacidad de almacenamiento de agua de un acuífero. Los tipos de reservas en un acuífero son los siguientes: variable e

invariable. El primero puede ser explotado continuamente debido a los aportes y salidas de agua. El segundo, salvo alguna recarga de agua superficial, se explota una sola vez (Fuentes, J., 1992).

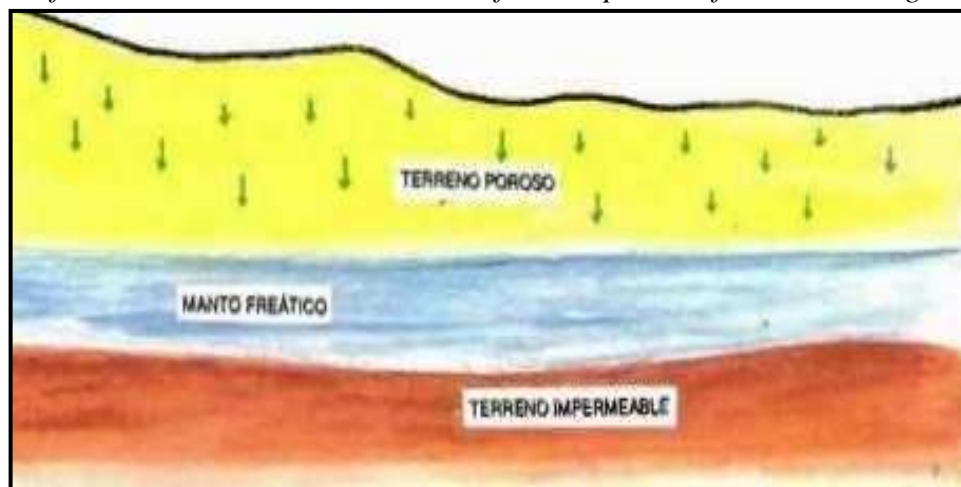
### 2.3.2.1 Tipos de Acuíferos

#### A) Según materiales constituyentes:

- Acuíferos porosos. En este tipo de acuíferos el agua transita con facilidad debido a que los materiales son sueltos y no están consolidados (áreas y gravas). El acomodo de las partículas deja grandes espacios (poros) permitiendo que el agua se infiltre o transmita rápidamente (Fig. 2).

**Figura 2.**

*Acuífero Poroso. Formación de manto freático por la infiltración del agua.*

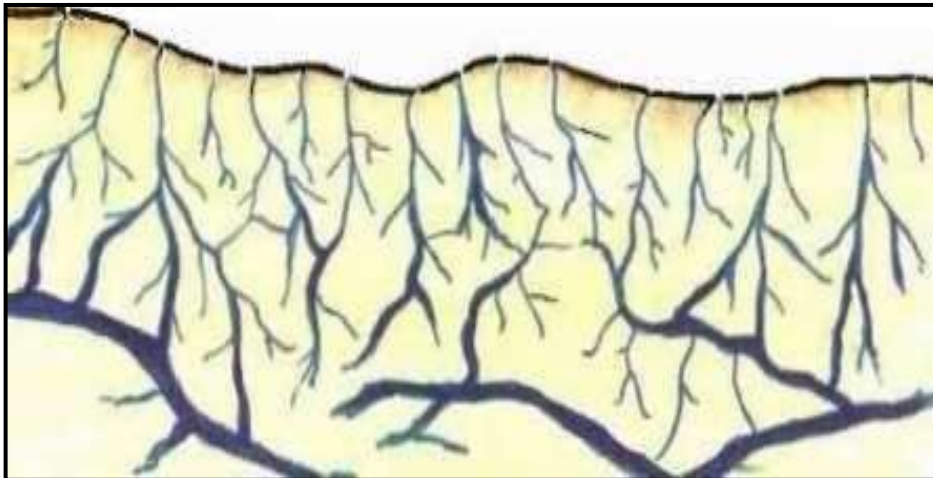


**Nota.** Fuente: Fuentes, J., 1992

- Acuíferos fisurados. El agua circula por las grietas y fisuras que se forman las rocas consolidadas que constituyen este tipo de acuífero. Están constituidos por rocas consolidadas, en donde el agua circula por las fisuras y grietas formadas en las mismas. En algunas rocas se produce el fenómeno llamado karstificación debido a que por su naturaleza (calizas y dolomitas) son solubles al agua creando fisuras grandes y conductos y cavidades de gran tamaño. En la figura 3 se puede observar el desplazamiento del agua a través de las grietas de las rocas:

**Figura 3.**

*Acuífero fisurado. El agua se infiltra y circula por las fisuras de la roca.*



**Nota.** Fuente: Fuentes, J., 1992

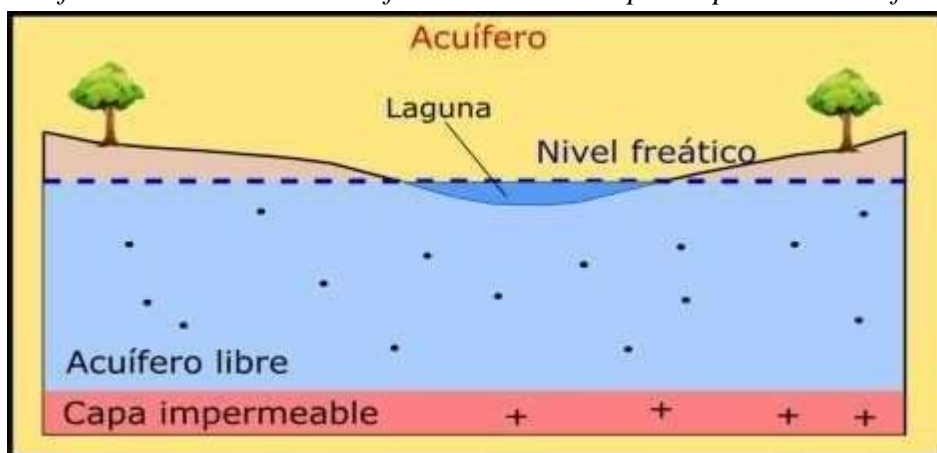
En los tipos de rocas donde solo se da el proceso de meteorización (cuarcita, granito, etc.) las fisuras son más pequeñas y en menores cantidades además de ser discontinuas. El agua penetra la parte superficial limitándose solamente en este aspecto. Esto origina que al perforar este tipo de terrenos, contengan bajas cantidades de agua (Fuentes, J., 1992).

**B) Según el grado de presión a que está sometida el agua:**

- Libres, no confinados o freáticos. La superficie del agua está en contacto con la atmosfera y es por ello que el nivel del agua de un piezómetro instalado concuerda con el nivel de agua del acuífero (Fuentes, J., 1992).

**Figura 4.**

*Acuífero libre. Se encuentra afectado netamente por la presión atmosférica*

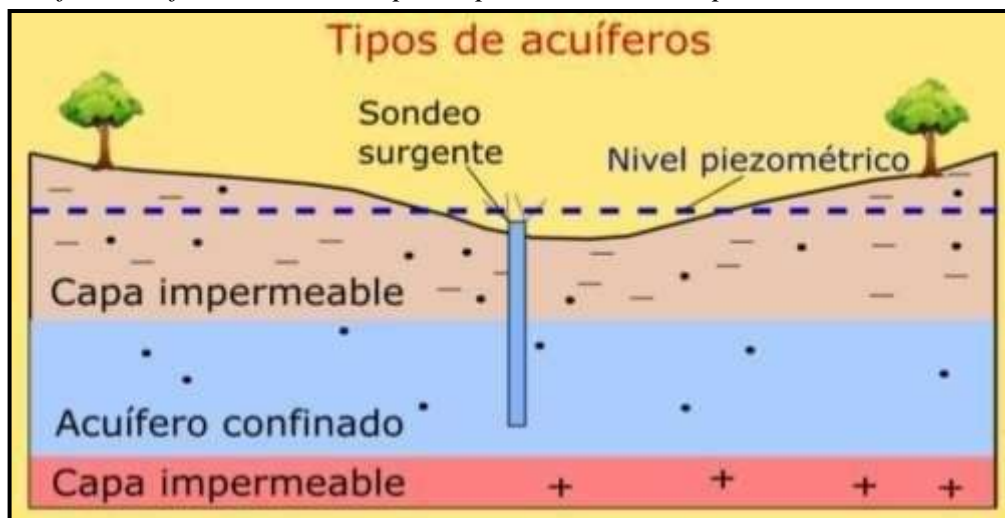


**Nota.** Fuente: Geologiaweb.com

- Cautivos, confinados o a presión. El agua está sometida a una presión mayor, esto debido que el acuífero limita con capas impermeables. Cuando se instala sondeos o piezómetros, la presión de la columna de agua se equilibra con la presión del acuífero. Si la cota del piezómetro es superior a la cota del terreno, entonces el agua emana por sí sola hasta la superficie o exterioridad del suelo.

**Figura 5.**

*Acuífero Confinado. Limitado por capas de terrenos impermeables*



**Nota.** Fuente: Geologiaweb.com

- Semicautivos o semiconfinados. Es un aspecto intermedio entre los dos casos vistos anteriormente. El acuífero limita con estratos semipermeables en la parte superior y con una capa impermeable en el estrato inferior o también acuitardos (semipermeables) en ambos extremos. Cuando se bombea este tipo de acuíferos, la capa semipermeable supone una recarga hacia el acuífero induciendo un flujo vertical.

### 2.3.2.2 Propiedades de los acuíferos

Arocha, 1980 establece lo siguiente: “La propiedad de los acuíferos de contener agua, está gobernada por varios factores: Porosidad, Permeabilidad, Transmisibilidad Específica y Coeficiente de Almacenamiento. Conocer estas características permite evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro a agotarlo”.



**a) Porosidad (n)**

Son las grietas o fisuras que contiene las rocas debido a que no son completamente sólidas. Es importante que los poros estén interconectados, pero en algunos casos esto se ve afectado por la forma y acomodo de partículas, gradación, etc. El rango de “n” oscila entre 0 – 50% dependiendo de su composición.

**b) Permeabilidad (K)**

Propiedad que indica la facilidad con la que circula el flujo de agua a través de los estratos. Esta circulación de agua está supeditada a la interconexión de los espacios vacíos; de no estar interconectados, el agua no fluiría. Algunas propiedades como la viscosidad, forma y tamaño de las partículas influyen en el movimiento del agua.

La permeabilidad de un suelo se define como la masa de agua que pasa por una sección unitaria (1m x 1m) en un tiempo determinado. Se toma un valor unitario para gradientes hidráulicos y de temperatura, el promedio es de 15 ° C. Su unidad de medida es de cm/s, m/día ó m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup> (Arocha, 1980).

**Tabla 1.**

*Valores relativos de permeabilidad*

<b>Permeabilidad relativa</b>	<b>Valores de K (cm/s)</b>	<b>Suelo Típico</b>
Muy permeable	$> 1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco permeable	$1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	$1 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \times 10^{-7}$	Arcilla

**Nota. Fuente:** TERZAGHI y PECK, 1980

**c) Transmisibilidad o Transmisividad (T)**

Es la propiedad del acuífero que determina o mide su capacidad para circular o transmitir un volumen de agua(en un tiempo determinado) por una franja vertical de 1m de ancho que se extiende o abarca todo el espesor de saturación. El gradiente

hidráulico y la temperatura tienen valores de 1 y de 15°C respectivamente (Arocha 1980).

La transmisividad se obtiene de multiplicar el espesor saturado con la conductividad hidráulica:

$$T = b * K$$

Donde:

T: Transmisividad (L<sup>2</sup>/T),

b: Espesor saturado del acuífero (L)

K: Conductividad hidráulica (L/T)

De tenerse un acuífero compuesto, la transmisividad total se obtendrá de sumar las transmisividades parciales correspondientes a cada uno de los estratos:

$$T = \sum T_i$$

Donde:

n —> Número total de estratos y

T<sub>i</sub> —> Transmisividad del estrato i.

El movimiento horizontal del flujo a través del acuífero se asume cuando se habla de transmisividad. Puede ser válida esta suposición, pero en otros casos no. También indica la capacidad que proporciona un acuífero para su extracción.

Otra forma de poder determinar su valor es mediante las pruebas de bombeo o en su defecto utilizando la ecuación antes planteada.

### **Coefficiente de Almacenamiento (S)**

Propiedad del acuífero que mide la cantidad de agua que puede ser extraída mediante un prisma vertical de sección unitaria y la altura según el espesor de saturación, teniendo en cuenta la disminución unitaria del nivel piezométrico. Su unidad es adimensional.

Los valores varían según el tipo de acuífero, por ejemplo en acuíferos confinados los valores son mucho menores a diferencia de los acuíferos libres (ver tabla 2). Esto debido a que la liberación de agua en los acuíferos confinados se da producto de la presión y compresión del acuífero (por ellos se le denomina también coeficiente de almacenamiento elástico) y no por la evacuación de los intersticios

**Tabla 2.**

*Valores de coeficiente de almacenamiento*

Tipo de material permeable	Forma del funcionamiento del acuífero	Valores medio de S
<b>Kárstico:</b> <b>Caliza y dolomías jurásicas</b>	Libre Semiconfinado Confinado	$2 \times 10^{-2}$ $5 \times 10^{-4}$ $5 \times 10^{-5}$
<b>Caliza y dolomías cretácicas y terciarias</b>	Libre Semiconfinado Confinado	$2 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2}$ $10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$ $10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$
<b>Poroso intergranular:</b> <b>Gravas y arenas</b>	Libre Semiconfinado Confinado	$5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$ $10^{-3}$ $10^{-4}$
<b>Kársticos y porosos:</b> <b>Calcarenitas marinas terciarias</b>	Libre	$15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$

Nota. Fuente: VILLANUEVA, M y IGLESIAS, A

### 2.3.2.2 Explotación de acuíferos

Según (Fuentes, J., 1992) establece lo siguiente: “*El funcionamiento de un acuífero en régimen natural se puede comparar a un depósito con tuberías de entrada y de salida de agua. En estas condiciones el acuífero está, por lo general, mal utilizado, ya que no siempre se aprovechan convenientemente los manantiales, ni tampoco se pueden controlar las descargas a otros acuíferos*”.

El rendimiento óptimo se logra cuando se bombea por completo la reserva variable. Con actividades de explotación de alta intensidad y prolongada, pueden originarse dos efectos poco deseables:

- *Descenso del nivel piezométrica de los sondeos.* Cuando se bombea prolongadamente y el caudal de entrada al acuífero es menor entonces se origina un desequilibrio o un desbalance lo cual va a producir que el acuífero se seque o se despeje por completo.

Puede justificarse una sobreexplotación del acuífero siempre y cuando se realice controladamente cubriendo la brecha de la reserva invariable. Esto se puede lograr dejando que el acuífero se recargue de forma consustancial sobretodo en época de invierno donde el aporte de aguas superficiales es importante. Otra manera es que se deje de bombear para que el nivel piezométrico llegue a su cota debida. Podría también utilizarse aguas superficiales sobrantes y recargar de manera artificial el acuífero.

- *Salinización del agua.* Cuando se sobreexplotan acuíferos que se comunican con aguas saladas (producto de la intrusión marina) se puede llegar a contaminar el recurso hídrico subterráneo que pueden perjudicar la calidad del agua sobrepasando los límites establecidos.

Los acuíferos forman un patrimonio natural muy importante, su adecuada explotación puede generar impactos positivos, ya que se utiliza un recurso renovable. Su gestión requiere una coordinada comunicación entre las agencias administrativas estatales y usuarios (Fuentes, J., 1992).

Las siguientes condiciones son necesarias para una adecuada gestión racional de los recursos hidráulicos en una comunidad:

- Conocimiento integral de los acuíferos el cual implica. Características geométricas, características hidráulicas, régimen de explotación y calidad del agua.
- Llevar un control del agua explotada midiendo los niveles y los caudales extraídos.

- Adoptar medidas concretas que lleven a un mismo fin cuando se produzcan imprevistos.

### **2.3.2.3 Captación de aguas subterráneas**

Fuentes, J., 1992 establece lo siguiente: “La captación de aguas subterráneas se realiza mediante pozos y sondeos. El pozo ordinario es una captación con diámetro superior a un metro (normalmente de 2-3 metros) y con una profundidad que no suele sobrepasar los 15-20 metros. El sondeo es una captación con diámetro inferior a 60 centímetros y una profundidad que excede los 20 metros. El pozo se reviste con obra de fábrica o con anillos prefabricados de hormigón. El sondeo se suele entubar con tubo metálico”. Existen diferencias entre los pozos y sondeos, considerando que si el acuífero no es tan profundo se construyen pozos. A continuación, algunas diferencias:

- Los pozos no se pueden profundizar mucho debido a que se colmatan de agua cuando llegan a la zona saturada a comparación de los sondeos que pueden pasar o penetrar la zona.
- A más profundidad hacia la zona de saturación, el caudal aumentara debido al incremento de la presión hidrostática.
- El caudal es se da de forma regular en los pozos y de manera intermitente en los sondeos cuando se bombea, siendo necesario contar con un depósito regulador.

#### **A) Construcción de sondeos**

Antes de construir un pozo, es necesario realizar una investigación hidrogeológica para tener la información más precisa sobre la ubicación. Cuando haya otros sondeos cercanos al área de investigación, nos proporcionarán datos que nos ayudarán a determinar el comportamiento de la nueva exploración (Fuentes, J., 1992).

Generalmente construir un sondeo incluyen las siguientes actividades:

- Perforación.

- Entubación.
- Relleno de grava.
- Desarrollo.
- Cementación.
- Ensayo de bombeo.

### **A.1 Perforación**

Para esta actividad, son 3 métodos los que se llevan a cabo: percusión, rotación y rotopercusión.

**Percusión.** Se sustenta en la fragmentación de la roca levantando y soltando un taladro o trepano de acero sujeto a una varilla de gran peso. Los escombros o desperdicios que se han formado se succionan periódicamente (mezclados con agua) con una pala o válvula de succión, que consta de un tubo yuxtapuesto con una válvula en el lado de abajo abriéndose de abajo hacia arriba: a medida que el tubo desciende, los escombros entran por la válvula de elevación cerrándose por su propio peso durante el ascenso. Este método se utiliza para excavar terrenos duros (Fuentes, J., 1992).

Las partes típicas de un equipo motorizado de perforación a percusión son:

- Tren de rodaje
- Bastidor
- Mástil o torre
- Tiro de remolque
- Motor (de combustión interna o de energía eléctrica)

**Rotación.** Esta técnica se basa en desgastar la roca o el suelo utilizando el giro de un taladro, broca o trepano que va montada en la terminación de un tubo que transmite

hacia la exterioridad. Mientras se ejecuta de la perforación, se hace transitar una corriente o descarga continua de lodos que tiene como propósito lo siguiente:

- Disuelve o disgrega la roca.
- Refrigerera y engrasa el trepano.
- Conduce los detritos formados hasta la superficie.
- Evita el derrumbe de las paredes de la perforación.

Existen dos formas para inyectar lodos:

- Se insertan mediante presión dentro del tubo y suben a través del espacio anular entre el tubo y los muros del sondeo.
- Entran por el espacio anular y se aspiran a través del conducto (circulación inversa).

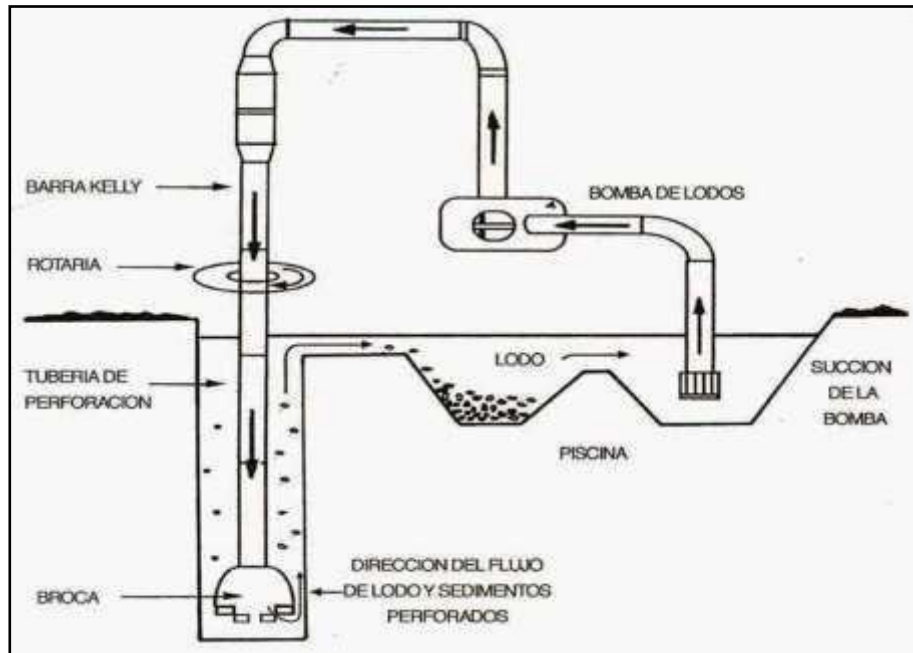
La circulación inversa requiere menos energía, pero requiere un diámetro más amplio para la excavación.

Un equipo de perforación por rotación motorizado típico, tiene las siguientes partes:

- Mesa de rotación
- Barra giratoria o Kelly
- Swivel o eslabón giratorio
- Drill pipe o tubería liviana de perforación
- Drill collars o tubería pesada de perforación
- Tríconos o brocas de perforación
- Bomba de lodos
- Motor

**Figura 6.**

*Sistema de perforación con rotación circulación directa*



**Rotopercusión.** Este procedimiento combina los dos precedentes: la broca choca el fondo de la excavación mientras gira. Se utiliza en terrenos muy homogéneos donde no se requiere tubería.

### **A.2 Entubación**

El propósito de entubar es evitar el colapso de las paredes o muros del sondeo (cuando no están hechas de roca sólida), al mismo tiempo que permite el ingreso del agua del acuífero. Se realiza con tubo ciego en la región insaturada y con tubo perforado o filtro en la región saturada. Los tubos se sueldan entre sí conforme se colocan, previniendo la creación de rebabas en el interior del tubo, ya que provocarían una caída de presión significativa (Fuentes, J., 1992).

### **A.3 Relleno de grava**

Este procedimiento implica la colocación de grava seleccionada y calibrada la zona anular entre la pared del pozo y la tubería. Como regla general, la grava debe ser silíceas, limpia, redonda y de 3-5mm de diámetro. La capa de grava tendrá un espesor comprendido entre 8 a 20 cm. La dificultad de su posición determinar el límite



inferior. Si la cifra más alta es menor que el valor del espesor, se reduce la velocidad de ingreso del agua con el riesgo latente de que se obstruya causado por el material fino del sondeo. El espesor más recomendado está entre 10-12 cm de grava (Fuentes, J., 1992).

#### **A.4 Avance del sondeo**

Este avance tiene como objetivo eliminar las partículas finas que quedan en el interior del pozo (luego de entubar y depositar la grava), y al mismo tiempo clasificar la grava por tamaño, dejando las partículas gruesas adheridas a las aberturas del filtro (Fuentes, J., 1992).

#### **A.5 Cementación**

Debido a las corrientes subterráneas y que estas puedan desplazar la tubería, es por ello que se realiza la cimentación para que en el fondo de la perforación quede fijado la tubería. A fin de evitar posibles contaminaciones por aguas superficiales, se coloca hormigón en la parte superior del sondeo, específicamente entre la tubería y la pared (Fuentes, J., 1992).

#### **A.6 Ensayo de bombeo**

El propósito de la prueba de bombeo es conocer la conducta del sondeo de modo que se pueda determinar el tamaño y la profundidad del equipo de la bomba que se instalará para lograr su máxima eficiencia. Antes de iniciar la prueba, se sugiere que el caudal de bombeo sea bajo e invariable hasta que el nivel de agua se normalice. Se tomarán medidas de precaución para evitar que el agua extraída este lo suficientemente cerca al sondeo y se filtre al nivel freático. Acto seguido, se aumenta gradualmente el caudal mediante un procedimiento escalonado. Por ejemplo, el caudal se mantiene constante durante una hora, y con sonda eléctrica flotante se miden las

caídas del nivel y se permite que el nivel se estabilice nuevamente antes de tomar la siguiente medida a un caudal más alto (Fuentes, J., 1992).

### **2.3.3 Geoeléctrica**

Parte de la geofísica que tiene como objetivo analizar, en función a la conductividad de la corriente eléctrica, la conducta de sedimentos y rocas. En este método el parámetro controlado es la resistividad eléctrica del subsuelo que variara según su profundidad y las características estratigráficas del área de estudio (Romero, J., 2019).

Cualquier anomalía, en la composición interna de la corteza terrestre, es detectado por los métodos geofísicos. Entre las propiedades más comunes que se miden, tenemos: la elasticidad, la densidad, la resistividad eléctrica y magnetismo. Gracias a las investigaciones y experiencia se pueden diferenciar dichas propiedades e interpretarse según el nivel o detalle de estudio que se quiera incluso conocer la calidad del agua (Todd, D., 1959 citado por Chávez, F., 2017).

#### **A. Sondeo Eléctrico Vertical**

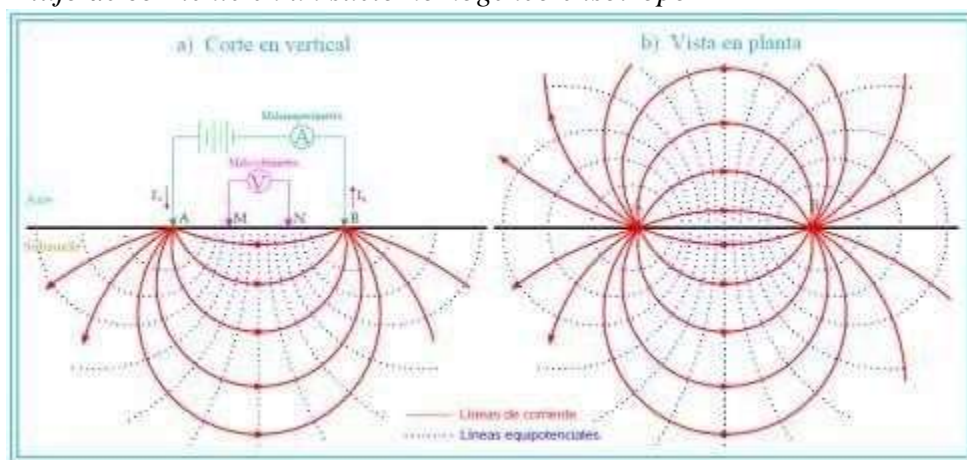
Romero, J. (2019) afirma lo siguiente: “La resistividad del suelo es la propiedad que tiene este, para conducir electricidad, es conocida como la resistencia específica del terreno; esto es, si en un terreno introducimos una corriente eléctrica, esta se propaga de forma tal que podemos asignar al terreno una resistencia, una capacidad y una inductancia (excluimos los intervalos inicial y final de la apertura y cierre del circuito), tendremos la resistencia como único parámetro”.

Continúa diciendo: “En prospección geoeléctrica los parámetros que se miden son; diferencia de potencial y la intensidad de corriente, pero el parámetro físico básico que se obtiene es la resistividad del suelo, es decir, la resistencia específica de las capas horizontales de suelos estratificados. La unidad de medida de la resistencia específica en el S.I. es el Ohmio-metro ( $\Omega\text{--m}^2/\text{m}$  o  $\Omega\text{--m}$ ), que corresponde a la intensidad de 1

amperio que permite pasar por un material conductor de sección  $1 \text{ m}^2$  y longitud de  $1 \text{ m}$  cuando se le aplica en sus caras opuestas una diferencia de potencial de  $1 \text{ Voltio}$ , además recalcar también que, en ocasiones, en lugar de la resistividad se emplea la conductividad ( $\sigma$ ), que es su inverso”.

Se debe considerar que cuando aplicamos corriente en el terreno, no solo atraviesa la superficie del suelo, sino que también penetra en el mismo. La separación de los electrodos influye en la profundidad de inserción de la corriente, es decir si la distancia entre los electrodos aumenta, más profundo fluye la corriente, pero su disminuye su densidad (Romero, J., 2019).

**Figura 7.**  
*Flujo de corriente en un suelo homogéneo e isótropo*



**Nota.** Fuente: Prospección Geoeléctrica (Estrada, L. 2012).

Según la anterior figura, si nos basamos en el sentido en el que circula la corriente eléctrica (establecido mediante electrones) es decir, desde el lugar de carga negativa residual hacia el lugar de carga positiva (desde el ánodo hasta el cátodo), tanto los electrodos (A) y (B) representan una fuente puntual y un buen punto respectivamente.

La descarga eléctrica  $I$  (medida en miliamperios), comparable al caudal de las corrientes subterráneas de entrada a través del suelo por (A) y es similar a los caudales de salida a través de (B), en modo permanente (sin disminución o beneficio entre A y B), completándose el recorrido en la fuente de energía (batería), la misma produce este flujo

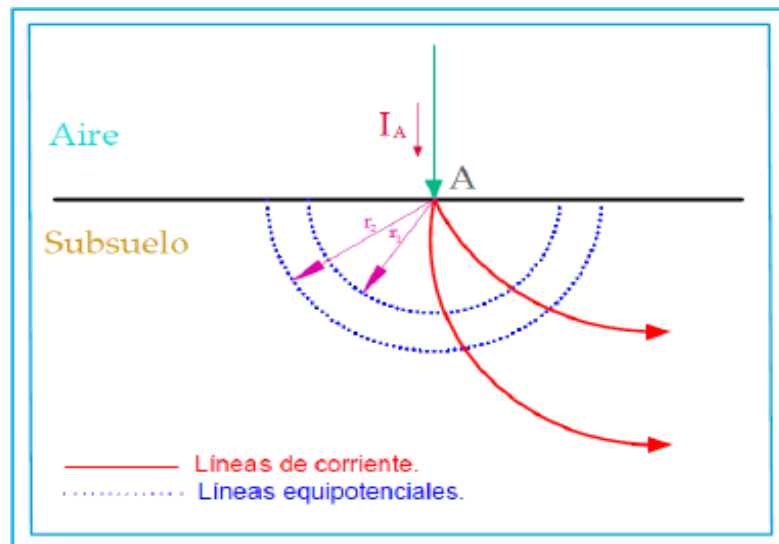
de electrones en el cableado y sobretodo de iones en el suelo debido a la variedad de voltaje en las conexiones de salida, y realizando una similitud, lo comparamos con las variaciones de los niveles piezométricos, se considera a (A) con un valor piezométrico mayor debido a la dirección del flujo que va de (A) hasta (B). Solo usando corriente directa es posible realizar esta comparación, de lo cual:

$$I_A = I_B \quad (1)$$

Considerando que los electrodos (A) y (B) estén muy alejados y el subsuelo es uniforme e isótropo, entonces los flujos de corriente son radiales y diversos y; las líneas equipotenciales tienen forma semiesférica alrededor del electrodo (A) tal como se puede observar en la siguiente figura:

**Figura 8.**

*Líneas de corriente y equipotenciales del electrodo A*



**Nota.** Fuente: Auge, M. 2008

En este caso la resistividad del subsuelo será

$$\rho = 2\pi \frac{(r_2 - r_1)}{r_2 \cdot r_1} \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Dónde:

$\rho$  = Resistividad aparente, ohm-m

$\Delta V$  = Diferencia de potencial entre los electrodos M, N, mV.

$I$  = Intensidad de corriente introducida en el terreno, ma.

$K$  = Constante geométrica que depende directamente de la geometría del dispositivo empleado para inyectar y medir la corriente y tiene las dimensiones de una distancia.

Según la composición y determinadas condiciones físicas, variara la resistividad ( $\rho$ ) de un suelo. Se pueden encontrar valores muy bajos y/o hasta millones de ohmios-metro. Los suelos con gran cantidad de materia orgánica suelen tener valores bajos a diferencia de las rocas que tiene valores elevados. A continuación, algunos factores que influyen en la resistividad:

- Tipo de suelo
- Composición química de las sales disueltas en el agua contenida
- Humedad disponible
- Compactación
- Tamaño y distribución del grano
- Temperatura
- Procesos geológicos
- Litología

Solo los materiales metálicos y algunas de sus sales conducen la electricidad. Como resultado, la tierra actuaría como un material aislante o tendría una resistencia muy alta. Pero en toda la composición del suelo hay vacíos saturados o no con agua, aunque siempre hay cierta presencia de humedad

La resistividad de la roca formada varía y depende del material, la densidad, la porosidad (forma y tamaño), el contenido y calidad del agua. La Tabla 3 muestra algunos valores de resistividad del agua y la roca (Mori, I. y Ramos, J., 2019).

**Tabla 3.***Resistividad de Aguas y Rocas*

Tipo de agua y roca	Resistividad (Ohm - m)
Agua de acuíferos aluviales	10 -30
Agua de manantiales	50 - 100
Arenas y gravas secas	1000 - 10000
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 - 10000
Areniscas arcillosas	50 - 300
Areniscas cuarcíticas	300 - 10000
Cineritas, tobas volcánicas	20 - 100
Lavas	300 - 10000

**Nota.** Fuente: Astier, Jean Louis, 1982.

Los SEVs proporcionan la información de resistividad aparente, y estos están representados por curvas trazadas en un modelo bilogaritmico. Los valores de resistividad y el espesor de las distintas capas de cada uno de los puntos de estudio se determinan por las curvas de campo y los distintos métodos de interpretación (Auge, M., 2008 Chávez, F., 2017).

### **A.1 Aplicación de los sondeos Eléctrico Verticales**

Los SEV (según Orellana, E.) se aplican en los siguientes casos o temas de investigación:

- Investigación en petróleo
- Investigación en aguas subterráneas
- Ingeniería en investigación geológica

### **A.2 Ventajas e inconvenientes en la aplicación de los SEVs**

En cuando a las ventajas de aplicar este método podemos mencionar lo siguiente:

- Las profundidades a las que se aplican los SEVs varían desde muy pequeñas (metros) hasta grandes profundidades (kilómetros).

- Comparado con otros métodos utilizados para el estudio del subsuelo este resulta, este resulta más económico y de sencilla utilización.
- El manejo del equipo no necesita de suficiente especialización o de profundos conocimientos para reparar el equipo de un posible daño.

La aplicación de estos Sondajes eléctrico verticales también presentan algunos inconvenientes, los que se pueden mencionar a continuación:

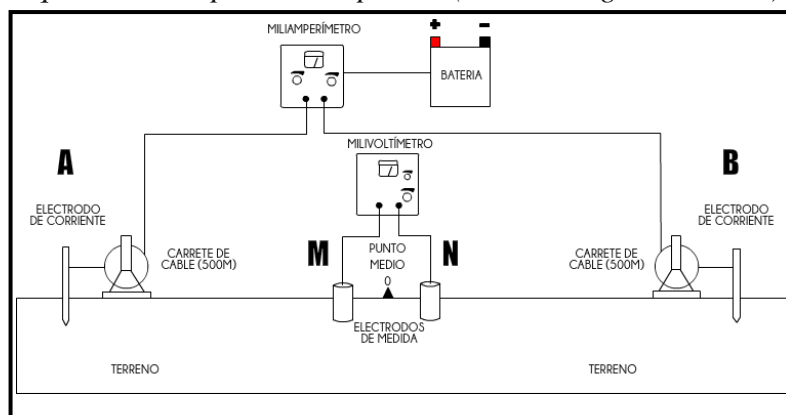
- Inconvenientes para interpretar correctamente las curvas debido al uso de los ábacos.
- Las corrientes terrestres o telúricas causan perturbaciones afectando más si los electrodos muy separados
- Las conexiones a tierra de fábricas perturban los SEVs y alteran la interpretación y resultados del mismo.

### A.3 Dispositivos de medición

Para ejecutar los SEV en el terreno, los electrodos se asignan en un orden específico, llamado dispositivo de electrodo. La matriz de Schlumberger se basa en cuatro electrodos ubicados en línea y equidistantes con respecto al centro del sondeo (Ver fig. 9). Los electrodos (AB) son de corriente y los electrodos (MN) de potencia con el objetivo de suprimir cualquier resistencia al estar los electrodos en contacto con el suelo.

**Figura 9.**

*Esquema del dispositivo empleado (Schlumberger simétrico)*



**Nota.** Fuente: Custodio, E. y Llamas, MR. 2001

Teniendo en cuenta el dispositivo Schlumberger, la longitud de separación de los electrodos A y B clasifican a los SEV desde corto a muy largos y en función a este tipo de clasificación se pueden orientar su aplicación de estudio. Esto se puede visualizar en la siguiente tabla:

**Tabla 4.**

*Tipos de SEV – Dispositivo de Schlumberger*

Tipo de SEV	Longitud	Principal aplicación
Corto	AB hasta 250 m	Geotecnia y Arqueología
Normal	$250 \text{ m} < AB < 2,500 \text{ m}$	Hidrogeología
Largo	$2,500 \text{ m} < AB < 25,000$	Prospección petrolera
Muy largo	Hasta 1,200 km	Investigación geofísica

Fuente: AUGÉ, M. 2008



### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Características del área de estudio

##### 3.1.1 Ubicación

###### A) Ubicación Política

Sector : Tierra Rajada  
Distrito : Olmos  
Provincia : Lambayeque  
Región : Lambayeque

###### B) Ubicación Geográfica

Entre las siguientes coordenadas UTM (Zona 17, Datum WGS – 84), se ubica el área de estudio son:

<i>ESTE</i>	<i>NORTE</i>
620 883	9 368 109
621 093	9 367 129

**Figura 10.**

*Vista satelital del área de estudio*



**Nota.** Fuente: Google Earth Pro

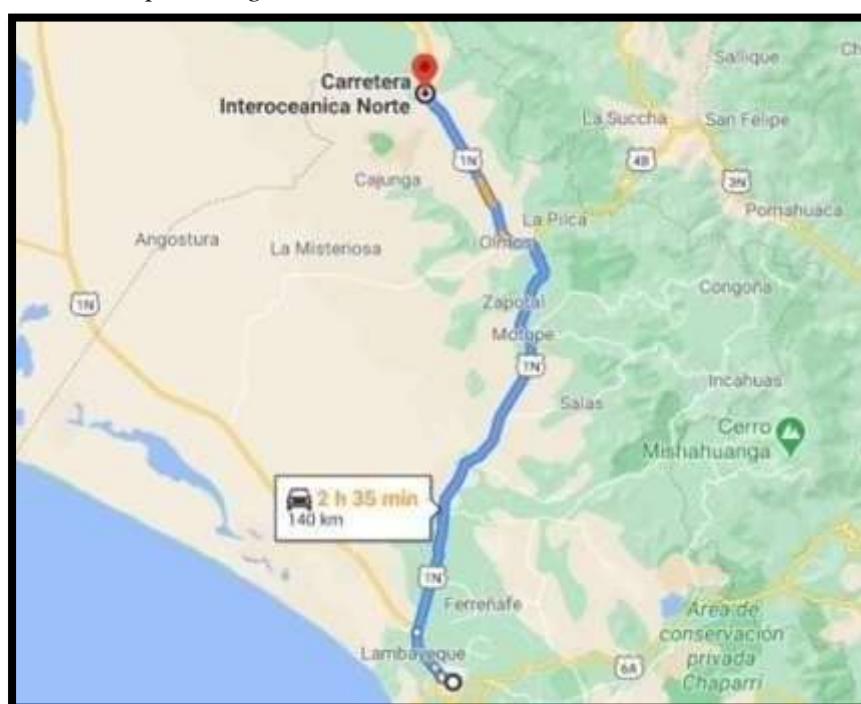
### 3.1.2 Acceso

La vía de acceso para llegar a la zona de estudio:

Tomando como partida la ciudad de Chiclayo nos dirigimos al norte por la carretera panamericana norte antiguo, pasando por los distritos de: Mochumi, Túcume, Illimo, Jayanca, Motupe, Olmos, para después seguir la misma carretera Panamericana Norte Antigua, hasta llegar al Sector El Porvenir, donde encontramos un desvío hacia La Victoria, dirigiéndonos por una carretera de trocha carrozable, hasta el Fundo Nuevo Miraflores (2h, 40 min aprox) (140 km).

**Figura 11.**

*Recorrido para llegar a la zona de estudio*



**Nota.** Fuente: Google Maps

### 3.1.3 Geología

A continuación, se presenta la descripción estratigráfica desde la base hacia la superficie de la zona:

#### ESTRATIGRAFÍA

La columna estratigráfica en el área de estudio está representada por una secuencia de rocas sedimentaria volcánicas y sedimentarias no consolidados, cuyas edades van del Mesozoico hasta el Cuaternario (Cenozoico).

A continuación, se describe la columna yendo de la formación más antigua a la formación más reciente.

- **Mesozoico (Mz)**

La estratigrafía mesozoica en el noroeste de Perú fue establecida por primera vez por A. Fisher, quien, sobre la base de los hallazgos de los filósofos y las correlaciones geológicas, distinguió entre los sedimentos Triphas-Jura (indivisibles) y el Cretácico, que se distinguen por un gran desajuste angular. El lecho rocoso paleozoico y las rocas trifásicas inferior y media, las tres fases superiores representadas por la capa Noriano, están completamente cubiertas por sedimentos del Jurásico Inferior y Medio (Lias) sin disconformidad obvia. Mediante observación sustentatoria y mapas geológicos se presentan estos depósitos como Jurásico trifásico e indiviso

- **Sistema Jurásico (Jz)**

Consisten de un paquete de roca de tipos volcánicos y metamórficas (Calizas) del trifásico – jurásico según definición del A. Fisher en base a los fósiles (Corales y Armonítes del jurásico inferior) hallazgo en la parte superior de la secuencia.

- **Sistema Cretácico**

En el área en cuestión, los asentamientos del sistema Cretácico están dados por las formaciones del Cretácico Inferior, las cuales caen dentro de una división angular por encima de los sedimentos del Jurásico Inferior, Trifásico y Paleozoico

## CUATERNARIO

- **Depósitos Lacustres Lagunar (LI QII – IV)**

Se encuentra ocupando la mayor parte de la zona de estudio en la parte inferior y central del estudio del río Insculas y Ñaupe, forma una llanura plana, baja, aflorando en toda la zona y en algunos casos se hayan cubiertas por arenas eólicas.

En la parte inferior del actual río Insculas, los depósitos lagunares están representados por suelos arenosos, arcillosos y limosos siendo su composición granulométrica heterogénea.

- **Depósitos Aluvial y Aluvial Proluvial (a – apQIII – IV)**

Está distribuido en forma considerable en el valle esorrentía temporal de los ríos Insculas y Ñaupe, causando llanuras proluviales de a pie de monte, proluviales para- andinas. Su composición granulométrica está representada por sedimentos de cascajo, guijarros y arena gravosa con relleno de arena arcillosa, se caracterizan por su heterogeneidad.

### **3.1.4 Geomorfología**

El plano geomorfológico, elaborado en base al levantamiento integral e interpretación de las aerofotografías y el análisis de las condiciones geólogo – estructural de la región nos permite determinar los siguientes rasgos geomorfológicos:

#### **ZONA DE RELIEVE PREDOMINANTE ECÓGENO**

Formada generalmente por material acumulado y denudado en cuyos límites se han formado llanuras lacustres, valle aluvial Proluvial, llanuras proluviales diluviales a pie de monte, a continuación, los siguientes relieves:

- **Llanuras Lacustre – Lagunar del Cuaternario Superior Reciente (11QIV)**

Ocupa casi la totalidad del área de estudio, está comprendida en las cotas absolutas de 55 a 120 m.s.n.m.

Gran parte de esta llanura se utiliza como terrenos de cultivo y pastizales. Los sectores erizos son ligeramente ondulados, como consecuencia de la erosión, presentándose frecuentemente canales que muchas veces son lechos de quebradas cuyo cauce se han modificado y profundizado, los canales tienen forma de arteza de ancho que varía entre 5.0 a 6.0 y profundidades comprendidas entre 4.0 y 5.0.

Los sedimentos de estas llanuras están representados por arena arcillosa, arcilla arenosa y limos.

- **Valle Aluvial con Terraza**

En el área de estudio se caracteriza por presentar un solo tipo de configuración los cuales en la parte montañosa de su curso superior sigue las fallas tectónicas cuyo corte transversal es en forma de V de arteza con cauce bien pronunciado. Los márgenes de los valles son bastantes inclinados, rocoso con frecuencia, formados por depósitos proluviales y proluviales – deluviales. Estos valles al salir a las represiones interandinas de la zona de confluencia de ensanchan con variaciones que varían de 0.5 a 1.0 km.

- **Valles Aluviales Proluviales (V ap)**

Formados como resultados de escorrentías temporales, se han desarrollado tanto en las vertientes de las laderas montañosas como en las depresiones interandinas.

Estos valles corresponden a dos generaciones que, por sus particularidades morfológicas y el tiempo de su formación a saber, el valle Aluvial – Proluvial Actual y Valle Aluvial

– Proluvial del cuaternario superior reciente. A continuación, se describen estos valles en forma somera:

- **Valles Aluvial – Proluvial Actual (V – ap)**

Comprenden las quebradas y pequeños valles en erosión acumulaciones de escorrentías temporales del halógeno, estos valles se caracterizan por sus pequeñas dimensiones, su ancho varía de 5 a 7 m, la profundidad varía de 0.6 a 3.5. se encuentran adyacentes a las zonas pre-andinas la longitud de estos valles llega hasta 6 km, estrechándose frecuentemente y convirtiéndose en surcos o zanjás.

- **Valles Aluvial – Proluvial del Cuaternario Superior Reciente (V2 – ap)**

Se encuentran con más frecuencia en las laderas montañosas y en la zona pre – andinas con cotas absolutas de 60 a 500 m.s.n.m. estos valles al desembocar a las llanuras forman conos de deyección o amplios deltas subreales, se ensanchan en forma de abanico con numerosas ramificaciones pequeñas.

El corte transversal de estos valles tiene forma de arteza y en algunos lugares (curso superior) en forma de V.

### ZONA DE RELIEVE PREDOMINANTE EXOGENO

Estos relieves se han desarrollado sobre estructuras positivas de distintas magnitudes en la parte norte y noreste de la región de estudio.

Está representada por montañas plegadas de bloques sobre rocas metamórficas, sedimentarios, volcánicos de edad Paleozoico. Estas elevaciones son resultados de plegamientos y movimientos en bloque en Neógeno Cuaternario.

## **3.2 Metodología**

### **a) Prospección Geofísica**

La geofísica es un método indirecto que permite obtener información de la presencia de horizontes o capas litológicas vinculadas al flujo, almacenamiento y calidad de los acuíferos. Estos métodos geofísicos utilizados en exploraciones están basados en la

medición de alguna propiedad física específica de los materiales que conforman las diferentes capas existentes en el subsuelo.

Este método permite investigar con gran rapidez grandes extensiones de terrenos y cuya precisión depende de la malla de los sondeos proyectados, además impide la alteración del medio ambiente. Es por esta razón, que son los más utilizados en este tipo de investigados.

El método utilizado para este trabajo fue el de Resistividades Eléctricas, el cual utiliza las características físicas de las rocas y materiales existentes en el subsuelo, tal como: la conductividad eléctrica que se encuentra relacionada a la cantidad del fluido de saturación, y que influye principalmente en las características hidrogeológicas del subsuelo. Para determinar estas resistividades se han aplicado los Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) que arrojan diagramas en cada uno de los SEV y mediante interpretaciones se calcula las resistividades distribuidas verticalmente y los espesores de los horizontes en los puntos monitoreados

Considerando esta información geoeléctrica, permite correlacionar con las características litológicas existentes y la presencia de humedad en el subsuelo.

En este estudio se ha asumido que el material del subsuelo es aproximadamente horizontes e uniforme hacia abajo hasta la profundidad máxima de investigación y que las lecturas instrumentales solo están afectadas por cambios en la calidad del fluido intersticial y/o litológico. Además, en todas las interpretaciones la capa más profunda representada es la capa que correspondería a la roca.

Para la obtención de las coordenadas de los puntos de medición en el terreno, se ha utilizado un GPS navegador de 12 canales, con precisión de 3m – 5m, suficiente para los objetivos del presente estudio.

**Tabla 5.**  
*Ubicación de sondeos (DATUM WGS '84)*

Sondeo	Este, m	Norte, m
Sev 1	620 473	9 367 361
Sev 2	620 610	9 367 337
Sev 3	620 706	9 367 226
Sev 4	621 027	9 367 034
Sev 5	621 161	9 367 129
Sev 6	621 147	9 367 254
Sev 7	620 940	9 368 201
Sev 8	621 011	9 368 088
Sev 9	621 095	9 367 947

**Nota.** Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 09 sondajes eléctricos verticales con 01 brigada de campo distribuidos en el sector de investigación.

#### **a.1) Trabajo de campo**

Previamente al inicio de los trabajos las estaciones fueron ubicadas en el Mapa(Ver anexos) durante un reconocimiento de campo, lo cual originó que en dichas estaciones los desplazamientos de los electrodos se hicieran de manera normal debido a la topografía plana, permitiendo uniformidad en las condiciones operativas.

#### **Configuración de electrodos**

En este trabajo de campo se ha utilizado la configuración electródica de Schlumberger Simétrica por ser la más adecuada para este tipo de investigación. Los esparcimientos de las líneas de corriente AB fueron: 6, 10, 14, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 140, 200, 260, 320, 400, 480, 560, 640 y 800 m. Las separaciones de MN fueron de: 2.0, 5.0, 20 y 80 m.

#### **Equipo empleado**



El equipo empleado para llevar a cabo los trabajos es el GEOSSEEKER con un alcance de profundidad de investigación máxima de 400 mts y con voltajes de 12 a 100 voltios.

### **Accesorios**

- 2 Bobinas con cable mono – electródico de cobre acerado de 500 mts c/u.
- 2 Bobinas con cable mono – electródico de cobre acerado de 200 mts c/u.
- 8 Electrodo de cobre y acero especial para la recepción de corriente eléctrica (MN).
- 2 Electrodo de fierro para la inyección de corriente eléctrica (AB).
- 1 GPS GARMIN.
- 4 Radios Motorola
- 1 Comba de 8 Lbs.
- 1 Wincha de 60 mts.
- 1 Laptop
- Software

### **a.2) Trabajo de gabinete**

#### **Interpretación**

##### **Valoración Cuantitativa.**

Basados en el desarrollo e interpretación de los gráficos de resistividades aparentes, se establecieron parámetros de estudio para cada uno de los sondeos:

- a) Número de capas geoelectricas,
- b) Resistividad real por capa geoelectrica, en ohm-m.
- c) Espesor de cada capa, en m.

Además, se determinó la resistividad real y el espesor aproximado de cada capa del subsuelo, y en base a estas dos variables se ha determinado: la naturaleza de

los diferentes materiales geológicos y los atributos de permeabilidad, su resistencia horizontal y salubridad de las aguas subterráneas.

### **Análisis estadístico**

A través del procesamiento de datos y valoración cuantitativa se han determinado los espesores y resistividades de cada estrato en cada sondaje. Sin embargo, muchas veces resulta complicado realizar la diferenciación y agrupamiento de estratos en cada punto, es decir, que un estrato en particular podría encontrarse ausente en un sondeo y no podría encontrarse una relación de correspondencia con otro horizonte de otro punto de sondeo. Esto podría conducir a errores al momento de definir el modelo matemático, así como en el momento de realizar la variación cualitativa. Por ello, resulta necesario, realizar un análisis estadístico que nos permita poder filtrar los valores atípicos en la muestra y realizar una buena agrupación de los horizontes correspondientes.

### **Valoración Cualitativa**

Mediante el análisis de los resultados y de los horizontes geoeléctricos, se estableció la existencia de estructuras realizando una descripción litológica e hidrogeológica.

## **b) Hidrodinámica subterránea**

Para la determinación de las características hidráulicas del acuífero se han realizado pruebas de bombeo a caudal constante (prueba de acuífero).

### **Prueba de Bombeo**

Se ha realizado la prueba de bombeo en el pozo proyectado ubicado en terrenos del fundo Nuevo Miraflores, distrito de Olmos, provincia de Lambayeque. La prueba de bombeo ha sido realizada a caudal escalonado, régimen permanente y en un tiempo de 12 horas. Los resultados se interpretaron según el método Theis en régimen transitorio

utilizando un caudal ponderado representativo para cada pozo. Mientras que para la recuperación se utiliza la corrección de Dupuit.

En las pruebas se consideró:

- La duración del bombeo, hasta alcanzar caudal y nivel dinámico constante
- Los descensos no son grandes en relación con el espesor saturado del acuífero y el drenaje es instantáneo y proporcional al descenso producido.
- El rebatimiento total, tras alcanzar el nivel y caudal constante.

### c) **Hidroggeoquímica**

Es necesario conocer las cualidades físicas y químicas del agua subterránea, a fin de saber los valores de concentración y características de elementos químicos diluidos en el agua subterránea y según los efectos que estos elementos puedan originar, se destina para los posibles usos en distintas actividades.

.Se tomó una muestra del pozo de la zona evaluada, donde se determinaron los siguientes parámetros:

- Conductividad Eléctrica
- Ph
- Contenidos de cationes y aniones (mg/l, meq/l)
- Relación de Adsorción de sodio (RAS)
- Identificación de Familias Químicas

#### **c.1) Evaluación Hidroggeoquímica**

##### **Criterio de salinidad**

La conductividad eléctrica (C.E.) es la inversa a la resistencia eléctrica y señala indirectamente la concentración de sal de la solución, por lo que cuanto mayor es la concentración de sal, mayor es la conducción de electricidad.

Para la clasificación del agua de riego se ha tenido en cuenta la siguiente tabla:

**Tabla 6.**

*Clasificación del agua de riego en función de su C.E*

CLASIFICACIÓN	CE (µmhos/cm)	RIESGO DE SALINIDAD
C1	100 -250	Bajo
C2	250 – 750	Medio
C3	750 – 2250	Alto
C4	>2250	Muy Alto

Nota. Fuente: Custodio, E. y Llamas, M.R. (1986). Hidrología subterránea. Omega

### **Criterio de sodicidad**

Es un parámetro que refleja la posible influencia del ion sodio sobre las propiedades del suelo, ya que este tiene efectos dispersantes sobre los coloides del suelo y afecta a la permeabilidad. Sus efectos no dependen solo de la concentración en sodio sino también del resto de cationes. Este criterio también se denomina criterio de permeabilidad o criterio de infiltración precisamente porque el efecto del sodio es disminuir esas propiedades en el suelo. El cálculo del RAS (Relación de adsorción de sodio) se basa en una fórmula empírica que relaciona los contenidos de sodio, calcio y magnesio y que expresa el porcentaje de sodio de cambio en el suelo en situación de equilibrio.

Se ha calculo con la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{\sqrt{Ca+Mg}}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

Donde los cationes se expresan en meq/l.

### **pH**

Es un indicador de la concentración de iones de hidrogeno (H+). Si el valor del pH es igual a 7 el agua es neutra, un pH menor a 7 indica que el agua es acida y un valor mayor a 7 indica que el agua es alcalina.

### **Composición química**

Esta referido a la presencia de iones (aniones y cationes) diluidos en el agua. A fin de mostrar la composición hidroquímica de las aguas subterráneas, se ha desarrollado el Diagrama de Schoeller-Berkalof

### c.2) Diagnóstico de aguas de riego

A partir de los datos de CE y RAS se establece la clasificación del agua según las normas Riverside. Esta norma permite clasificar el agua en 3 categorías según su aptitud para riego y considera los tipos que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 7.**

*Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside*

Tipos	Calidad y normas de uso
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiable del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S3	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

#### **d) Balance Hídrico**

Para determinar el balance hídrico primero se ha calculado la demanda de agua mensualizada para los cultivos de cebolla (*Allium cepa*) -20 ha y paprika (*Capsicum annuum*) -50 ha, la cual será atendida con el funcionamiento de los pozos proyectados. Luego se ha calculado la oferta mensualizada en función a la cantidad de agua que se obtuvo de cada pozo planteado. Por lo tanto, para determinar la disponibilidad de agua en este estudio fue ineludible contrastar la demanda de agua con el suministro (Régimen de explotación).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Prospección Geofísica

En la tabla 8 se pueden observar los valores numéricos y en Anexos los diagramas de cada sondaje eléctrico.

Estos diagramas muestran una buena coherencia no habiéndose presentado anomalías notables que impidieran la interpretación de cada SEV.

Durante la interpretación, se obtuvo una secuencia litológica distinta para los distintos horizontes establecidos la presencia de diferentes horizontes o capas representa una secuencia litológica establecida diferente, a su vez la cualidad del fluido litológicamente relacionado. Esto se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 8.**

*Resultados de la interpretación de los Sondeos.*

N° SEV		1	2	3	4	5	6	7	8	9
o —	Ro	113	225	495.3	187	212.9	359.2	171.1	227.4	250.8
	h	0.735	1.41	0.882	0.735	0.8012	3.261	0.8127	1.095	9.182
	d	0.735	1.41	0.882	0.735	0.8012	3.261	0.8127	1.095	9.182
R e	Ro	422	255	159.4	426	268.8	253.5	225.5	336.1	165.2
	h	2.67	6.28	0.9688	2.51	12	16.9	16.35	5.927	50.07
	d	3.4	7.69	1.851	3.25	12.8	20.16	17.17	7.022	59.26
s i s	Ro	208	164	309.1	235	168.8	91.65	111.4	154.7	51.54
	h	26.8	28.1	6.389	25.7	10.91	25.06	43.41	49.21	120.1
	d	30.2	35.8	8.24	29	23.71	45.22	60.58	56.24	179.4
t i v	Ro	12	14	146.2	21.5	100	49.34	39.26	57.22	9.913
	h	29.8	4.3	27.81	12	19.95	30.78	115	102.5	
	d	60	79.2	36.05	41	43.67	76	176.3	158.8	
i d a	Ro	59.3	59.3	28.89	37	22.7	28.85	9.49	8.399	
	h	96	78.2	122.8	136	123.6	109.8			
	d	156	157	158.9	177	167.3	185.8			
d		8.9	8.18	9.954	8.93	9.573	9.913			

Ro – Resistividad eléctrica de capa, Ohm-m

h – Espesor de capa, m

Estos diagramas muestran una buena coherencia no habiéndose presentado anomalías notables que impidieran la interpretación de cada SEV.

#### 4.1.1 Secciones geoelectricas

##### **Sección geoelectrica A – A'**

La secuencia de los horizontes es la siguiente:

- **Primer Horizonte:** Compuesto por cuatro capas de mediano espesor con resistividades que varían entre 113.0 Ohm-m y 495.3 Ohm-m, que representan la presencia de material permeable y seco tales como arenas poco limosas.
- **Segundo Horizonte:** Con resistividades de 12.0 Ohm-m a 59.3 Ohm-m. Este horizonte, se caracteriza a un acuífero saturado en un suelo permeable como arenas y limos variando en zonas en arenas gruesas y gravas tales como los valores más altos en esta sección, son por la presencia de material permeable y al bajar la resistividad es por la presencia de poco material permeable, en esta sección es por eso la delimitación.
- **Tercer Horizonte:** Con resistividad de 8.18 Ohm-m a 9.954 Ohm-m que representan un material impermeable (arcillas).

De los tres puntos explorados en esta Zona no se ha podido determinar la presencia de un posible basamento rocoso por encontrarse a más profundidad pasando la capa de arcilla encontrada.

El mejor punto en la investigación es el SEV 2 por presentar características favorables en sus resistividades y espesores, por la presencia de arenas finas y arenas gruesa con gravas.

##### **Sección geoelectrica B – B'**

La secuencia de los horizontes es la siguiente:



- **Primer Horizonte:** Compuesto por cuatro capas de mediano espesor con resistividad que varían entre 91.65 Ohm-m a 426 Ohm-m, que representan la presencia de material permeable y seco tales como arenas finas y arenas pocos limosas.
- **Segundo Horizonte:** Con resistividad de 21.5 Ohm-m a 49.34 Ohm-m. Este horizonte, se caracteriza a un acuífero saturado en un suelo permeable como arenas y limos variando en zonas de arenas gruesas y gravas, al igual que en la anterior sección se presentan valores un poco más altos por la presencia de material permeable esto solo es en el SEV 6 llegando a 49.34 Ohm-m.
- **Tercer Horizonte:** Con resistividad de 8.93 Ohm-m a 9.913 Ohm-m que representan un material impermeable (arcillas).

De los tres puntos explorados en esta Zona no se ha podido determinar la presencia de un posible basamento rocoso por encontrarse a más profundidad pasando la capa de arcilla encontrada.

El mejor punto en la investigación es el SEV 6 por presentar características favorables en sus resistividades y espesores, por la presencia de arenas finas y arenas gruesa con gravas.

### **Sección geoelectrica C – C'**

La secuencia de los horizontes es la siguiente:

- **Primer Horizonte:** Compuesto por cuatro capas de mediano espesor con resistividad que varían entre 114.4 Ohm-m a 336.1 Ohm-m, que representan la presencia de material permeable y seco tales como arenas finas y arenas pocos limosas.

- Segundo Horizonte: Con resistividad de 39.26 Ohm-m a 57.22 Ohm-m. Este horizonte, se caracteriza a un acuífero saturado en un suelo permeable como arenas y limos en las arenas con menor presencia.
- Tercer Horizonte: Con resistividad de 8.399 Ohm-m a 9.913 Ohm-m que representan una arcilla impermeable.

De los tres puntos explorados en esta Zona no se ha podido determinar la presencia de un posible basamento rocoso por encontrarse a más profundidad pasando la capa de arcilla encontrada.

El mejor punto en la investigación es el SEV 9 por presentar características favorables en sus resistividades y espesores, por la presencia de arenas finas y arenas gruesa con gravas.

Se ha determinado que la zona de estudios presenta características favorables para la explotación de aguas subterránea, quedando como el mejor punto en la investigación el SEV 2 (SECCION A - A') SEV 6 (SECCION B - B') y SEV 9 (SECCION C - C').

#### **4.1.2 Espesor del horizonte permeable saturado**

Se manifiesta en el Mapa N° 4 del Anexo A en la cual se muestran las variaciones de los espesores del horizonte productivo, es decir la parte más importante del acuífero, las cuales permitirán recomendar fuentes de agua subterránea (Pozos) de explotación con profundidades que atraviesen el horizonte permeable. Se ha identificado 2 horizontes permeables saturados (explotables), uno es el acuífero libre y el Confinado I y el otro el Confinado II. En relación al acuífero libre y el Confinado I se ha encontrado espesores que varían desde los 29.0 m hasta 136.0 m de profundidad. En el Mapa N° 4 se indican las isocurvas de los espesores de horizontes permeables.

#### **4.1.3 Resistividad del horizonte permeable**

En el Mapa N° 5 del Anexo A, se observan las resistividades del horizonte permeable saturado del acuífero libre y Confinado I que varían desde los 12 Ohm-m hasta 37 Ohm-m, mientras el Confinado II se establecen los valores desde los 39 ohm-m hasta 59 ohm-m. En el Mapa N° 5 se plasman las isocurvas de resistividades de los espesores de los Horizontes Permeables.

#### **4.1.4 Basamento rocoso impermeable**

En cuanto al basamento Rocos, la investigación ha logrado tener una investigación hasta los 185 m de profundidad y no se ha llegado a detectar la roca basamento.

De acuerdo con los resultados del estudio geofísico (SEV), geoeléctrico, geología y geotécnica; el estuario presenta dos acuíferos bien definidos.

- Acuífero Libre + Confinado I (AL + CI): Que funcionan como un todo ya que existe interconexión hidráulica entre los dos y que está compuesto de sedimentos muy arenosos con algunos lentecitos de arcilla.
- Acuífero Confinado II (CII): Compuesto de un estrato con componentes de arena granulada y pequeños guijarros en un 10% como también un estrato de arcilla ligera.

#### **4.2 Napa freática**

Como para nuestra área de estudio hemos considerado registros de varias épocas podemos decir que la napa freática ha sufrido ascenso debido principalmente a las ocurrencias pluviales ocurridas durante el fenómeno del niño durante los años 1983, 2007 y 2017, originando que los antiguos niveles estáticos hayan subido, como lo hemos verificado en otras áreas como Pañalá, La Poligonal, etc. (Ver Anexo A, Mapa N° 9).

La napa en la zona tiene una pequeña variante entre 28 – 32 m de profundidad.

### 4.3 Inventario de pozos y fuentes de agua

A continuación, se presenta la tabla 9 con las características del pozo más cercano a la zona de estudio que han permitido tomar datos sobre el flujo del agua subterránea y otras características hidrogeológicas del acuífero.

**Tabla 9.**  
*Inventario de pozos y fuentes de agua*

COORDENADAS		IRHS	NOMBRE DEL POZO	COTA  TERRENO  (m.s.n.m.)	PERFORACIÓN					NIVELES DE AGUA Y CAUDAL						C.E.  m.m.h.o.s  cm + 25 °C	EXPLOTACIÓN  ESTADO  DEL POZO	
					Año  19..	Tipo	Prof. Inic.  (m)	Prof. Act.  (m)	Diámetro  (m)	FECHA	P.R. SUELO  (m)	N. ESTÁTICO  PROF (m)    m.s.n.m.		CAUDAL  (l/s)	N. DINÁMICO  PROF (m)    m.s.n.m.			
ESTE	NORTE																	
621822	9368420	552	Asoc. Víctor Raúl Haya de la Torre	-	97	M.	42.00	33.00	0,40 / 1,60	19/06/2007	0.00	30.20	-	-	-	-	1.09	UTILIZABLE

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia.

La ubicación georeferenciada del pozo identificado con IRHS 552 se puede observar en el mapa N°07 del Anexo A.

### 4.4 Hidrodinámica subterránea

Los valores de los parámetros: como transmisividad (T), conductividad hidráulica (k), coeficiente de almacenamiento ( $\mu$ ), radio de influencia (Ri) se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10.**  
*Valores de los parámetros hidrodinámicos del acuífero.*

Nombre del pozo	Prof. m	Qp. l/seg	H m	T m <sup>2</sup> /día	K m/día	$\mu$	Radio de influencia (horas)			
							6	12	18	24
POZO IRHS S/N	90	34	67.10	137.8	2.05	$3 \times 10^{-3}$	160.7	227.3	278.4	321.5

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia.

### 4.5 Hidrogeoquímica

**Tabla 11.**  
*Valores de los parámetros hidrodinámicos del acuífero*

Muestra N°	C.E. uS/cm	pH	Meq/litro							
			Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>
AGUA	1260.0	6.79	5.9	4.4	1.9	0.2	6.5	2.5	3.8	0.0

**Nota. Fuente:** Análisis de laboratorio

Se visualiza que la conductividad eléctrica en el pozo tubular es de 1260.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y al compararlo con los valores de la tabla 6, este se encuentra en el rango de 750 – 2250 clasificándose el agua con riesgo de salinidad ALTA con una clasificación de C3 que según la tabla 7 el agua puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

El valor del ph es de 6.79 clasificándose el agua como Ligeramente acida a Neutro haciéndola ideal para la utilización en la agricultura.

Los iones de las muestras analizadas han sido ploteados en el Diagrama de Piper y Shoeller (Ver Anexos C4 y C5), con la finalidad de clasificar y determinar el tipo de agua, de cuya interpretación se ha establecido que el tipo de agua en la zona de estudio se puede clasificar como **CLORURADA CÁLCICA**.

#### **Criterio de Sodicidad**

Luego de reemplazar los valores de Na y Mg en la ecuación (1), se obtiene un RAS DE 0.84 lo que nos indica que No existe riesgo de sodificación (Ver Anexos C6).

### **4.6 Balance Hídrico**

#### **4.6.1 Demanda de agua**

En la siguiente tabla presentamos los cálculos de la demanda para cada cultivo:

**Tabla 12.**  
*Demanda de agua para cada cultivo*

Cultivo	Área (Ha)	Demanda (m <sup>3</sup> /Ha/año)	Total (m <sup>3</sup> /año)
CEBOLLA( <i>Allium cepa</i> )	20	11,000	220,000
PAPRIKA ( <i>Capsicum annuum</i> )	50	14,000	700,000
<b>TOTAL</b>			920,000

A continuación se presenta la demanda de agua mensualizada:

**Tabla 13.**  
*Desagregado de la demanda mensualizada (m<sup>3</sup>)*

Cultivo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	DEMANDA ANUAL
	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(Hm³)
CEBOLLA ( <i>Allium cepa</i> )	18,685	16,877	18,685	18,082	18,685	18,082	18,685	18,685	18,082	18,685	18,082	18,685	220,000
PAPRIKA ( <i>Capsicum annum</i> )	59,452	53,699	59,452	57,534	59,452	57,534	59,452	59,452	57,534	59,452	57,534	59,452	700,000
Total Mensual	78,137	70,575	78,137	75,616	78,137	75,616	78,137	78,137	75,616	78,137	75,616	78,137	920,000

*Nota.* Fuente: elaboración propia

La demanda total del agua es de 920,000 m³/año la cual será atendida con el funcionamiento de los pozos proyectados.

#### 4.6.2 Régimen de explotación

El caudal estimado que se va a extraer de cada pozo es de 40 l/s y para ello se ha realizado el desagregado de la oferta mensualizada que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 14.**

*Desagregado de la oferta mensualizada (m³)*

Pozo (proy.)	Caudal de Explot.	Tiempo de Bombeo (hrs/día)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	Volume nAnual de Explotación
			(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(Hm3)
1	40	15	66,960	60,480	66,960	64,800	66,960	64,800	66,960	66,960	64,800	66,960	64,800	66,960	788,400
2	40	15	66,960	60,480	66,960	64,800	66,960	64,800	66,960	66,960	64,800	66,960	64,800	66,960	788,400
3	40	15	66,960	60,480	66,960	64,800	66,960	64,800	66,960	66,960	64,800	66,960	64,800	66,960	788,400
			200,880	181,440	200,880	194,400	200,880	194,400	200,880	200,880	194,400	200,880	194,400	200,880	2,365,200

*Nota.* Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la tabla 14 y conforme al caudal establecido de explotación y con un bombeo diario de 15 horas, se obtiene un volumen anual de 2,365,200 m³.

#### 4.6.3 Disponibilidad

Conociendo la demanda agrícola y la oferta mensualizada se procedió a comparar los valores en cada mes, determinando así la disponibilidad de agua con la que cuenta el fundo para fines agrícolas. Este balance se puede visualizar en la siguiente tabla:

**Tabla 15.**  
*Disponibilidad Hídrica (m³)*

DESCRIPCIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	VOLUME NANUAL (Hm³)
	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	
DEMANDA (70 Ha)	78,137	70,575	78,137	75,616	78,137	75,616	78,137	78,137	75,616	78,137	75,616	78,137	0,920000
OFERTA	200,880	181,440	200,880	194,400	200,880	194,400	200,880	200,880	194,400	200,880	194,400	200,880	2,365,200
<b>DISPONIBILIDAD HIDRICA (hm³)</b>													<b>+1,445,200</b>

*Nota.* Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior, existe disponibilidad de agua en la zona, con un superávit de 1,445,200 m³/año, lo que genera una seguridad para el desarrollo de la actividad de la empresa a través del funcionamiento de los 3 pozos proyectados.

## V. INGENIERIA DEL PROYECTO

### 5.1 Propuesta de punto de captación

#### 5.1.1 Ubicación

Conforme a la prospección geofísica realizada a través de los 9 Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) se han podido 3 secciones geoeléctricas. En función a ellos se ha determinado que los horizontes II y III son los más factibles para explotar debido al bajo grado de mineralización; considerándose apto para abastecer hídricamente a los cultivos (cebolla y ají paprika).

De acuerdo al análisis cuantitativo y a sus características litológicas se ha podido determinar que de los 9 SEVs ejecutados solos 3(SEV N° 02, 06 y 09) muestran condiciones para que puedan perforar los pozos. A continuación, se muestran la tabla con la ubicación georeferenciada (DATUM WGS 84) de los sondeos que pueden ser explotados:

**Tabla 16.**  
*Ubicación de los pozos proyectados.*

Sondeo	Este, m	Norte, m	Profundidad (m)
Inmediaciones del SEV 2	620 610	9 367 337	140.00
Inmediaciones del SEV 6	621 147	9 367 254	180.00
Inmediaciones del SEV 9	621 095	9 367 947	175.00

#### 5.1.2 Diseño preliminar de pozos

Para diseñar el punto de la captación, se han tenido presente los siguientes componentes:

- Hidrogeología del sector.
- Propiedades hidrodinámicas del acuífero.
- Litología.
- Volumen de agua requerido.



- Distribución temporal de la demanda

Este estudio permite realizar un diseño preliminar de los pozos planificados, estos pozos deben ser reajustados teniendo en cuenta tanto los resultados de la perforación y el registro como el análisis granulométrico de las muestras de estratigrafía perforada

El diseño de ingeniería preliminar de los pozos propuestos se ha planteado tomando en cuenta el caudal requerido, la profundidad actual del nivel freático y el desgaste que se obtendrá durante el proceso de bombeo. Queda por determinar la profundidad exacta al perforar y las capas utilizables (Ver Anexo C7).

### **5.1.3 Diseño físico de pozos**

Los diseños se desarrollaron teniendo en cuenta los resultados del levantamiento geofísico y las condiciones hidrogeológicas de la zona investigada. Los diseños tienen que reestructurarse con los resultados que se obtengan del análisis granulométrico realizado a las muestras extraídas del acuífero durante la excavación o perforación.

Las siguientes características ha definido el diseño físico de los pozos:

- Diámetro y longitud de la sección de admisión.
- Diámetro y longitud del entubado ciego.
- Diámetro y profundidad de perforación.

#### **a) Sección de admisión**

La entrada está representada por una columna de filtro ubicada debajo de la posición probable del nivel estático, como se puede ver en la Tabla 17 y los planos de diseño del pozo (Ver Anexo C7).

Se sugiere que se utilice el filtro de abertura tipo puente trapezoidal, de 14 pulgadas de diámetro, con espesor de  $\frac{1}{4}$ " y 1.5mm de abertura. En cuanto al material, si se quiere mayor durabilidad se sugiere utilizar tubería de acero inoxidable, o en todo

caso acero negro laminado en caliente (LAC) con soldadura eléctrica de bajo contenido en carbono

**Tabla 17.**  
*Diseño físico de pozos.*

N° SEV	Perforación definitiva del pozo		Entubado ciego 14" x 1/4"	Tubería filtro tipo puente trapezoidal Ø14", a:1.5mm	Colector (Tubería Aco LAC Ø14" x 1/4") punta lápiz	Cementado	Engravado
	Diámetro (pulg)	Profundidad máxima (m)					
2	23"	140	De 0 a 40	De 40 a 135	De 135 a 140	Por definir con la diagráfia eléctrica	De 0 a 140
6	23"	180	De 0 a 50	De 50 a 175	De 175 a 180	Por definir con la diagráfia eléctrica	De 0 a 180
9	23"	175	De 0 a 70	De 70 a 170	De 170 a 175	Por definir con la diagráfia eléctrica	De 0 a 175

*Nota.* Fuente: elaboración propia

#### b) Perforación

El método rotatorio es una opción para realizar la perforación. En este caso, el diámetro de final de la excavación es de 23" en toda su longitud. La investigación propone perforar hasta 140.00m. (SEV 2), 180.00 m. (SEV 6) y 175.00 m. (SEV 9).

#### c) Entubado ciego

En la tabla 17 se puede apreciar que existen 2 tramos de tubería ciega, el primer tramo que va desde la superficie hasta el empalme con la columna de filtro y el segundo tramo es el colector que se ubica en el fondo del pozo que sirve como trampa de arena.

#### d) Entubado filtro

La tubería filtro se colocará de acuerdo a la diagráfia eléctrica y por lo general se ubican en las capas más permeables con grado de salinidad baja a media.

En el Anexo C7 se muestran los diseños preliminares de los pozos proyectados con cada una de sus características.

#### e) Cementación

Con el objetivo de evitar la contaminación del acuífero se sellan los estratos de agua salina. El cemento tipo V es recomendable para una correcta cementación

Sin embargo, para determinar en un pozo la cementación es imprescindible tener el registro estratigráfico y/o capas contaminantes que lo determina a través de la diagráfía eléctrica.

**f) Prefiltro de grava**

En base a la granulometría de la composición acuífera se llevará a cabo la gradación de grava y en base al Método de US BUREAU OF RECLAMATION se ajustará la abertura de los filtros.

Es importante que la grava esté libre de impurezas y tenga forma redondeada. El diámetro de la grava preferentemente debe estar entre 1/8" a 1/4".

**5.1.4 Planilla de metrados**

- **Pozo proyectado N° 1**

En la Tabla 18 se detalla la planilla de metrados de los pozos proyectados N° 1 (SEV 2), Pozo proyectado N° 2(SEV 6) y Pozo proyectado N° 3(SEV 9).

## Pozos proyectados N° 1 (SEV 2)

SERVICIO: PERFORACIÓN POZO TUBULAR  
 PROFUNDIDAD: 140.00 MTS  
 LUGAR: TIERRA RAJADA  
 DISTRITO: OLMOS PROVINCIA: LAMBAYEQUE DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVICIONALES</b>		
<b>01.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>		
01.01.01	LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO ANTES DE LA PERFORACIÓN	GLB	1.00
01.01.02	CAMPAMENTO PROVISIONAL / INSTALACIONES Y GUARDIANÍA	GLB	1.00
01.01.03	MOVILIZACIÓN Y RETIRO DE EQUIPOS	UND	2.00
01.01.04	MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS	UND	2.00
<b>01.02</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>		
01.02.01	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	GLB	1.00
01.02.02	SEÑALIZACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA OBRA	GLB	1.00
01.02.03	CAPACITACIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD	UND	1.00
<b>02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TAREAS</b>		
02.01	CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO PARA EL LODO DE PERFORACIÓN	GLB	1.00
<b>03</b>	<b>PERFORACIÓN DEL POZO</b>		
03.01	ADECUACIÓN Y MANEJO DE LODO DE PERFORACIÓN	GLB	1.00
03.02	PERFORACIÓN DE POZO PILOTO 8"	ML	140.00
03.03	DIAGRAFIA (EN POZO PILOTO)	GLB	1.00
03.04	RIMADO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO Ø 23"	ML	140.00
<b>04</b>	<b>TUBERÍA Y CULMINACIÓN DEL POZO</b>		
04.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA CIEGA ACO LAC Ø 14" e: 1/4"	ML	40.00
04.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA INOX FILTRO TIPO PUENTE TRAPEZOIDAL Ø 14" a: 1.5 mm	ML	95.00
04.03	SUMINISTRO PREPARACION E INSTALACION DE TUBERIA CIEGA ACO LAC Ø 14" e: 1/4" - COLECTOR	ML	5.00
04.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE GRAVA DE 1/8 A 1/4	M3	18.00
04.05	CEMENTACIÓN DEL POZO (DE ACUERDO A LA DIAGRAFIA ELECTRICA)	M2	0.00
<b>05</b>	<b>LIMPIEZA Y VERTICALIDAD DEL POZO</b>		
05.01	DESARROLLO DE POZO CON AIRE COMPRIMIDO	HRS	48.00
05.02	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE TRIPOLIFOSFATO DE SODIO	KG	50.00
05.03	PRUEBAS DE VERTICALIDAD Y ALINEAMIENTO	UND	1.00
<b>06</b>	<b>PRUEBAS DE ESTIMULACIÓN DEL POZO</b>		
06.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE BOMBA SUMERGIBLE	UND	1.00
06.02	PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE Y ESCALONADA	HRS	72.00
<b>07</b>	<b>ANÁLISIS DEL POZO</b>		
07.01	ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO - BACTEREOLÓGICO DEL AGUA DE POZO	UND	1.00
07.02	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	UND	30.00
<b>08</b>	<b>LIMPIEZA Y PROTECCIÓN DE POZO</b>		
08.01	LIMPIEZA Y ELIMINACIÓN DEL DESMONTE	GLB	1.00
08.02	SELLO DEL FONDO DEL POZO TUBULAR	GLB	1.00
08.03	SELLO METÁLICO DE LA BOCA DEL POZO	GLB	1.00
08.04	CEMENTACIÓN DE LA BOCA DEL POZO	GLB	1.00

## Pozo proyectado N° 2(SEV 6)

SERVICIO: PERFORACIÓN POZO TUBULAR  
 PROFUNDIDAD: 180.00 MTS  
 LUGAR: TIERRA RAJADA  
 DISTRITO: OLMOS PROVINCIA: LAMBAYEQUE DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO
01	OBRAS PROVINCIONALES		
01.01	TRABAJOS PRELIMINARES		
01.01.01	LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO ANTES DE LA PERFORACIÓN	GLB	1.00
01.01.02	CAMPAMENTO PROVINCIONAL/ INSTALACIONES Y GUARDIANÍA	GLB	1.00
01.01.03	MOVILIZACIÓN Y RETIRO DE EQUIPOS	UND	2.00
01.01.04	MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS	UND	2.00
01.02	SEGURIDAD Y SALUD		
01.02.01	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	GLB	1.00
01.02.02	SEÑALIZACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA OBRA	GLB	1.00
01.02.03	CAPACITACIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD	UND	1.00
02	MOVIMIENTO DE TAREAS		
02.01	CONSTRUCCION DEL CIRCUITO PARA EL LODO DE PERFORACION	GLB	1.00
03	PERFORACION DEL POZO		
03.01	ADECUACION Y MANEJO DE LODO DE PERFORACION	GLB	1.00
03.02	PERFORACIÓN DE POZO PILOTO 8"	ML	180.00
03.03	DIAGRAFIA (EN POZO PILOTO)	GLB	1.00
03.04	RIMADO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO Ø 23"	ML	180.00
04	TUBERIA Y CULMINACION DEL POZO		
04.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA CIEGA ACO LAC Ø 14" e: 1/4"	ML	50.00
04.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA INOX FILTRO TIPO PUENTE TRAPEZOIDAL Ø 14" a: 1.5 mm	ML	125.00
04.03	SUMINISTRO PREPARACION E INSTALACION DE TUBERIA CIEGA ACO LAC Ø 14" e: 1/4" - COLECTOR	ML	5.00
04.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE GRAVA DE 1/8 A 1/4	M3	23.00
04.05	CEMENTACIÓN DEL POZO (DE ACUERDO A LA DIAGRAFIA ELECTRICA)	M2	0.00
05	LIMPIEZA Y VERTICALIDAD DEL POZO		
05.01	DESARROLLO DE POZO CON AIRE COMPRIMIDO	HRS	48.00
05.02	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE TRIPOLIFOSFATO DE SODIO	KG	50.00
05.03	PRUEBAS DE VERTICALIDAD Y ALINEAMIENTO	UND	1.00
06	PRUEBAS DE ESTIMULACION DEL POZO		
06.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE BOMBA SUMERGIBLE	UND	1.00
06.02	PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE Y ESCALONADA	HRS	72.00
07	ANALISIS DEL POZO		
07.01	ANALISIS FISICO - QUIMICO - BACTEREOLÓGICO DEL AGUA DE POZO	UND	1.00
07.02	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	UND	30.00
08	LIMPIEZA Y PROTECCION DE POZO		
08.01	LIMPIEZA Y ELIMINACION DEL DESMONTE	GLB	1.00
08.02	SELLO DEL FONDO DEL POZO TUBULAR	GLB	1.00
08.03	SELLO METÁLICO DE LA BOCA DEL POZO	GLB	1.00
08.04	CEMENTACIÓN DE LA BOCA DEL POZO	GLB	1.00

### Pozo proyectado N° 3(SEV 9)

SERVICIO: PERFORACIÓN POZO TUBULAR  
 PROFUNDIDAD: 175.00 MTS  
 LUGAR: TIERRA RAJADA  
 DISTRITO: OLMOS PROVINCIA: LAMBAYEQUE DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVICIONALES</b>		
<b>01.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>		
01.01.01	LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO ANTES DE LA PERFORACIÓN	GLB	1.00
01.01.02	CAMPAMENTO PROVICIONAL /INSTALACIONES Y GUARDIANÍA	GLB	1.00
01.01.03	MOVILIZACIÓN Y RETIRO DE EQUIPOS	UND	2.00
01.01.04	MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS	UND	2.00
<b>01.02</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>		
01.02.01	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	GLB	1.00
01.02.02	SEÑALIZACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA OBRA	GLB	1.00
01.02.03	CAPACITACIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD	UND	1.00
<b>02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TAREAS</b>		
02.01	CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO PARA EL LODO DE PERFORACIÓN	GLB	1.00
<b>03</b>	<b>PERFORACIÓN DEL POZO</b>		
03.01	ADECUACIÓN Y MANEJO DE LODO DE PERFORACIÓN	GLB	1.00
03.02	PERFORACIÓN DE POZO PILOTO 8"	ML	175.00
03.03	DIAGRAFIA (EN POZO PILOTO)	GLB	1.00
03.04	RIMADO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO Ø 23"	ML	175.00
<b>04</b>	<b>TUBERÍA Y CULMINACIÓN DEL POZO</b>		
04.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA CIEGA ACO LAC Ø 14" e: 1/4"	ML	70.00
04.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA INOX FILTRO TIPO PUENTE TRAPEZOIDAL Ø 14" a: 1.5 mm	ML	100.00
04.03	SUMINISTRO PREPARACION E INSTALACION DE TUBERIA CIEGA ACO LAC Ø 14" e: 1/4" - COLECTOR	ML	5.00
04.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE GRAVA DE 1/8 A 1/4	M3	22.00
04.05	CEMENTACIÓN DEL POZO (DE ACUERDO A LA DIAGRAFIA ELECTRICA)	M2	0.00
<b>05</b>	<b>LIMPIEZA Y VERTICALIDAD DEL POZO</b>		
05.01	DESARROLLO DE POZO CON AIRE COMPRIMIDO	HRS	48.00
05.02	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE TRIPOLIFOSFATO DE SODIO	KG	50.00
05.03	PRUEBAS DE VERTICALIDAD Y ALINEAMIENTO	UND	1.00
<b>06</b>	<b>PRUEBAS DE ESTIMULACIÓN DEL POZO</b>		
06.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE BOMBA SUMERGIBLE	UND	1.00
06.02	PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE Y ESCALONADA	HRS	72.00
<b>07</b>	<b>ANÁLISIS DEL POZO</b>		
07.01	ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO - BACTEREOLÓGICO DEL AGUA DE POZO	UND	1.00
07.02	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	UND	30.00
<b>08</b>	<b>LIMPIEZA Y PROTECCIÓN DE POZO</b>		
08.01	LIMPIEZA Y ELIMINACIÓN DEL DESMONTE	GLB	1.00
08.02	SELLO DEL FONDO DEL POZO TUBULAR	GLB	1.00
08.03	SELLO METÁLICO DE LA BOCA DEL POZO	GLB	1.00
08.04	CEMENTACIÓN DE LA BOCA DEL POZO	GLB	1.00

## **5.2 Especificaciones técnicas**

### **5.2.1 Método de perforación**

#### **Rotación**

Este es el método más recomendado en el valle de Olmos y Cascajal, debido al avance diario que se alcanza y los costos son más bajos comparado con otros métodos (percusión, mixto).

La herramienta funciona girando en el fondo del pozo a través de un tren de varillas, transfiriendo energía desde el transductor (que descansa sobre la superficie) a la herramienta de corte. En este método de perforación, hay muchos tipos, según el modo de funcionamiento de la herramienta de corte y la forma de suprimir los residuos producidos. Se tiene lo siguiente:

- Circulación directa, en la que el medio de transporte de detritos (agua, lodo, polímeros) se lleva al fondo del pozo a través del interior de la varilla y sale con los desechos a través del espacio anular entre la pared del pozo y la varilla
- Circulación inversa, el funcionamiento en la otra dirección, es decir, se introduce agua o lodo a través del anillo exterior y se extrae por el interior de la sonda de excavación unido con los desechos. Este método es más adecuado para su uso en suelos desmoronados, suelos blandos o ambos, donde es necesario perforar grandes pozos de gran diámetro y profundidad, causando el menor daño posible a los acuíferos transversales

### **5.2.2 Etapas de la perforación del pozo**

#### **a) Perforación de pozo exploratorio**

Luego de instalar del equipo y preparar el espacio de trabajo se realizará la perforación de un pozo exploratorio de no más de 8" de diámetro ayudado de los conductos de circulación del lodo perforante y sedimentadores pertinentes.

Como es conocido, en la perforación a rotación, se utiliza lodo de perforación que se inyecta a presión, cumpliendo básicamente tres funciones: refrigerante de la herramienta de corte (trepano tricónico), estabilizados de la pared e perforación en materiales detríticos (arenas, gravas, etc.) y evacuador de la lama. En los trabajos se utilizará una solución de bentonita, con una viscosidad del orden 20 – 25s que es la recomendada para perforar en materiales como arena media y fina, como es el caso.

Cuando en el proceso de perforación se exista una variabilidad del material, es necesario extraer muestras y colocarlas en forma ordenada para su respectiva descripción con el fin de tener noción de las características granulométricas de los estratos perforados, observándose sus límites en la diagráfia eléctrica que incluso posibilita discernir la permeabilidad de los materiales del acuífero.

**b) Registro de diagráfia: resistividad y rayos gama, incluido diseño del pozo**

Consiste en el ensanchamiento del pozo exploratorio aprobado a satisfacción del supervisor de la obra. El pozo será ensanchado por escariado hasta alcanzar la profundidad y diámetro de 23”.

Después de realizar el proceso de ensanchamiento o ampliación, la empresa contratista dejará la abertura lista para medir la sección con un calibrador; si resulta que en algún punto el diámetro es menor que el diámetro especificado, la abertura se ampliará nuevamente y medido nuevamente.

**c) Entubado**

Se deberá utilizar tubería de Aco LAC de 14” de diámetro y además se diseñará el área filtrante del pozo en las zonas más convenientes tomando en cuenta el perfil litológico elaborado al final de la perforación, conjuntamente con el



Registro de la diagraña eléctrica. El área filtrante será de tubería de Aco Inox Ø 14" con abertura de 1.5 mm. (Ver Anexo C7).

**d) Suministro y aplicación de grava seleccionada.**

La grava consistirá de partículas limpias, firmes, durables, basalto y bien redondeadas, con tamaño de grano y granulación seleccionados. La granulometría será establecida en el estudio definitivo del pozo, en función a los análisis granulométricos de la zona con acufera y a las aberturas de las rejillas de captación, debiendo esta ser aprobada por el supervisor, y no se aceptará una desviación del tamaño superior al 15%. Sin embargo, se ha considerado preliminarmente entre 1/8" – 1/4" el diámetro de la gravilla. La roca triturada no es aceptable como material para filtro de grava, pero las gravas de río tamizadas de una fuente local podrían ser aceptables.

**e) Inyección del cemento para impermeabilizar el pozo**

Concluida las actividades de perforación e instalada la tubería ciega de protección y los filtros se procederá a la perforación de la lechada de cemento tipo V, el cual será colocado desde el fondo de la formación de protección del acuifero explotable hasta la superficie anular del pozo. Al efectuarse los trabajos de cementación se tendrá especial cuidado en mantener constante el fluido de tal forma que cubra todo el espacio anular entre la formación natural y la tubería ciega.

De todo lo anteriormente mencionado para poder determinar los trabajos del sellado a través de la cementación, se tendrá que tener en cuenta los registros de las capas contaminantes (estratos salobres) que puedan identificar la diagraña eléctrica.

#### **f) Desarrollo del pozo tubular**

Etapa importante del proceso de construcción del pozo que consiste en desalojar el lodo de perforación utilizado en la perforación además de eliminar los sedimentos finos como limos y arcillas que se encuentran alrededor del área filtrante del pozo. Este proceso se realiza con inyección de grava seleccionada y tamizada de ½ a 1” pulgada de diámetro. El método utilizado puede ser aire comprimido.

Durante este proceso se deberá aplicar tripolifosfato de sodio (50 kg) con el fin de diluir las arcillas.

#### **g) Prueba de bombeo del pozo**

Al final de la perforación se deberá realizar una prueba de bombeo del pozo con la finalidad de conocer el caudal de explotación, y con los datos obtenidos realizar un equipamiento óptimo del pozo colocando la bomba a una altura dinámica adecuada y eficiente.

El aforo del pozo será de 72 hrs. continuas con 3 régimen de bombeo.

#### **h) Análisis Físico químico**

Por tratarse de un uso agrícola se deberá realizar un análisis físico-químico de las muestras de agua del pozo con la finalidad de conocer las propiedades físicas – químicas del agua extraída.

#### **i) Limpieza y protección del pozo**

##### **• Limpieza y eliminación de desmonte de perforación**

Al final del proceso de perforación, se debe limpiar el área de trabajo y se deben retirar todos los materiales y productos de perforación ubicados en el área del proyecto

##### **• Sello metálico de la boca del pozo**

Al terminar con las pruebas del pozo se soldará una plancha de ¼” en la boca de pozo, para evitar posibles entradas de materias extraídas al interior. La boca de pozo deberá quedar como mínimo a 0.50 m, del nivel del terreno natural.

Cualquier accesorio o dispositivo que permitan acceso al pozo deberán también satisfacer los anteriores requisitos de elevación sobre el terreno y serán sellados o enrejillados de tal manera que impida el ingreso de materias extrañas o contaminantes.

- **Sello del fondo de pozo tubular**

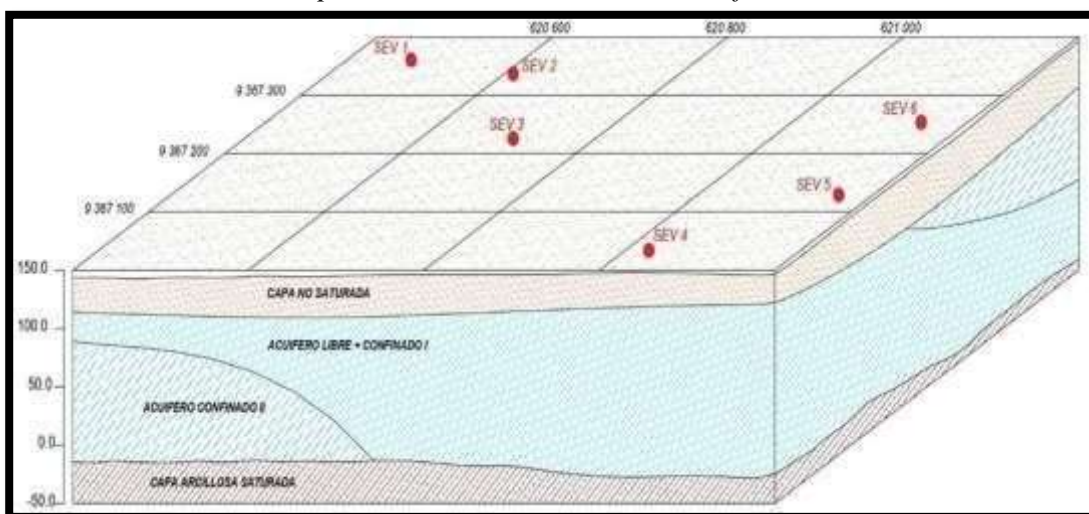
Se pondrá una tapa de cemento en el fondo del recipiente, para evitar que entre agua desde el fondo. En cualquier instante durante el trabajo, la empresa de perforación tomará precauciones para evitar la intrusión al pozo o la entrada de objetos extraños. El resguardo tendrá una altura mínima alrededor de 3,00 m.

### 5.3 Modelo Conceptual

Para conocer el funcionamiento del reservorio acuífero del área de estudio presentamos el siguiente modelo y allí vemos como están ubicados los acuíferos que lo conforman el reservorio estuario.

**Figura 12.**

*Modelo conceptual de la ubicación de los acuíferos.*



**Nota.** Fuente: Elaboración propia

La simulación de la textura con los valores eléctricos de la geofísica nos da lo siguiente, Acuífero Libre totalmente saturado y con salinidad baja a media, Acuífero Confinado I totalmente saturado y con calidad aceptable para cualquier tipo de uso, siendo interconectados hidráulicamente el Acuífero Libre y el Acuífero Confinado I, y luego después de estos horizontes, encontramos el Acuífero Confinado II totalmente saturado y compuesto de estratos de alta permeabilidad con calidad de baja a muy baja salinidad.

El acuífero libre y Confinado I tiene un espesor que varía de 30 a 120 metros de profundidad continuando con la investigación se presenta un acuífero confinado II con un espesor variable de 30 a 120 metros de profundidad, y posteriormente se puede determinar la capa arcillosa no saturada con predominancia de arcilla, teniendo un aproximado de más 150 m de profundidad, teniendo en cuenta que esta última capa es variable.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

1. Geológicamente, la zona de estudio y alrededores afloran rocas del terciario, formación tambo grande (tp-tg) y depósitos cuaternarios (gr-al) y eólicos (gr-eo). De acuerdo al mapa geomorfológico de la zona evaluada, las geomorfos más saltantes son: terraza aluvial (t-al), llanura o planicie aluvial (pl-al) y colina y lomada en roca sedimentaria (rcl-rs).
2. De acuerdo a los resultados cuantitativos se ha establecido que de los 9 SEVs realizados, los pozos pueden ser perforados en las inmediaciones de los SEV N° 02, 06 y 09. La zona de estudio se encuentra ubicada sobre sedimentos pocos permeables, eólicos y aluviales del acuífero libre. La roca basamento no se ha detectado por lo tanto, indicamos que después del último horizonte (Capa de estrato de arcilla) es posible encontrarlo, que puede ser después de los 200 metros de profundidad.
3. La conductividad eléctrica de la muestra de agua es de 1260.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  clasificándose como Agua con riesgo de salinidad ALTA con una clasificación de C3 pudiéndose utilizar para regar suelos bien drenados, utilizando grandes volúmenes de agua para el lavado del suelo e instalar cultivos que toleren la salinidad. Los valores de los parámetros hidrodinámicos son los siguientes:

Nombre del pozo	Prof. m	Qp. l/seg	H m	T m <sup>2</sup> /día	K m/día	$\mu$	Radio de influencia (horas)			
							6	12	18	24
POZO IRHS S/N	90	34	67.10	137.8	2.05	$3 \times 10^{-3}$	160.7	227.3	278.4	321.5

4. Existe una disponibilidad hídrica en la zona, con un superávit de 1,445,200 m<sup>3</sup>/año, lo que genera una seguridad para el desarrollo de la actividad de la empresa a través del funcionamiento de los 3 pozos proyectados.

## **6.2 Recomendaciones**

1. Luego de la ejecución del pozo exploratorio la ejecución de una diagrapía eléctrica en el pozo para el bloque y cementación del pozo hasta la zona deseada (horizonte sin mineralización) y la colocación de filtros y tubería ciega en los puntos identificados con el registro de la diagrapía eléctrica.
2. Durante la ejecución del pozo tubular se analicen las muestras de los materiales y/o estratos perforados para determinar la granulometría y construir el perfil litológico.
3. Una vez entubado y engravado el pozo, realizar la prueba de verticalidad y alineamiento del pozo en toda su columna o longitud.
4. Es necesario indicar que las perforaciones deberían ser supervisadas por un ingeniero especialista en pozos, ya que el éxito de la obra depende no solo de las características hidrogeológicas del acuífero, sino del seguimiento de las operaciones durante el proceso de perforación, de tal manera, que la obra refleje realmente lo establecido en el estudio.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Barelli, E., (2011). Tesis: “*Estudio hidrogeológico de aguas subterráneas en un sector del Campo Bare, Estado Anzoátegui*”. Universidad Central de Venezuela.
- Bellino, N. (2012). *Aguas Subterráneas, Conocimiento y Explotación*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Carbajo, K. (2015). Tesis: “*Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael*”. Universidad Nacional Agraria La Molina – Perú.
- Castany, G. *Prospección y Explotación de las Aguas Subterráneas*. Barcelona: Omega, 1975. 738 p.
- Chávez, F. (2017). Tesis: “*Estudio Hidrogeológico para Sustentar La Disponibilidad Hídrica Subterránea para Pozo Tubular de Reemplazo - Monsanto Perú - Villacuri – Ica*”. Universidad Agraria La Molina. Perú.
- Espinoza, C. (2004) *Apuntes de hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento*. Universidad de Chile.
- Fuentes, J. (1992). *Aguas Subterráneas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid – España.
- Ibañez, J. y Sandoval, C., (2015) Tesis: “*Diseño de Sistemas de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio La Mojana*”. Universidad Católica de Colombia.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2004). *Monitoreo de las aguas subterráneas en el valle Olmos*. Lambayeque – Perú.
- Lopez, C., Zambrano, L. y Ruiz, R. (2017). *El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica*. Fundación Friedrich Ebert. Primera edición
- Núñez, S., Villacorta, S., Chira, J. y Rivera, R. (2006). *Estudio Geoambiental de la cuenca del río Chancay – Lambayeque*. Dirección de Geología ambiental – INGEMMET. Lima – Perú.
- Ordoñez, J. (2011). *Aguas Subterráneas – Acuíferos*. Foro peruano para el Agua GWP Perú. Lima - Perú.
- Velez, M.(1999). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia. 2ª edición.
- Reyna, S. (2010) *Recurso Hídrico Subterráneo*. Universidad Nacional de Córdoba. Apuntes de Catedra.

- Romero, J., (2019). Tesis: *“Estudio geoelectrico y planteamiento de explotación de aguas subterráneas en el fundo La Victoria – UNC”*. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Terzaghi K. y Peck R.B., (1967). *“Soil Mechanics in Engineering Practice”*. Massachusetts, United States of America.
- Todd, D. K. (1959). *Hidrogeología del agua subterránea*. Editora Organismos La Habana, Cuba
- Villanueva Martinez, M., & Iglesias López, A. 1984. *Pozos y Acuíferos: Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo*. Madrid: IBERGESA

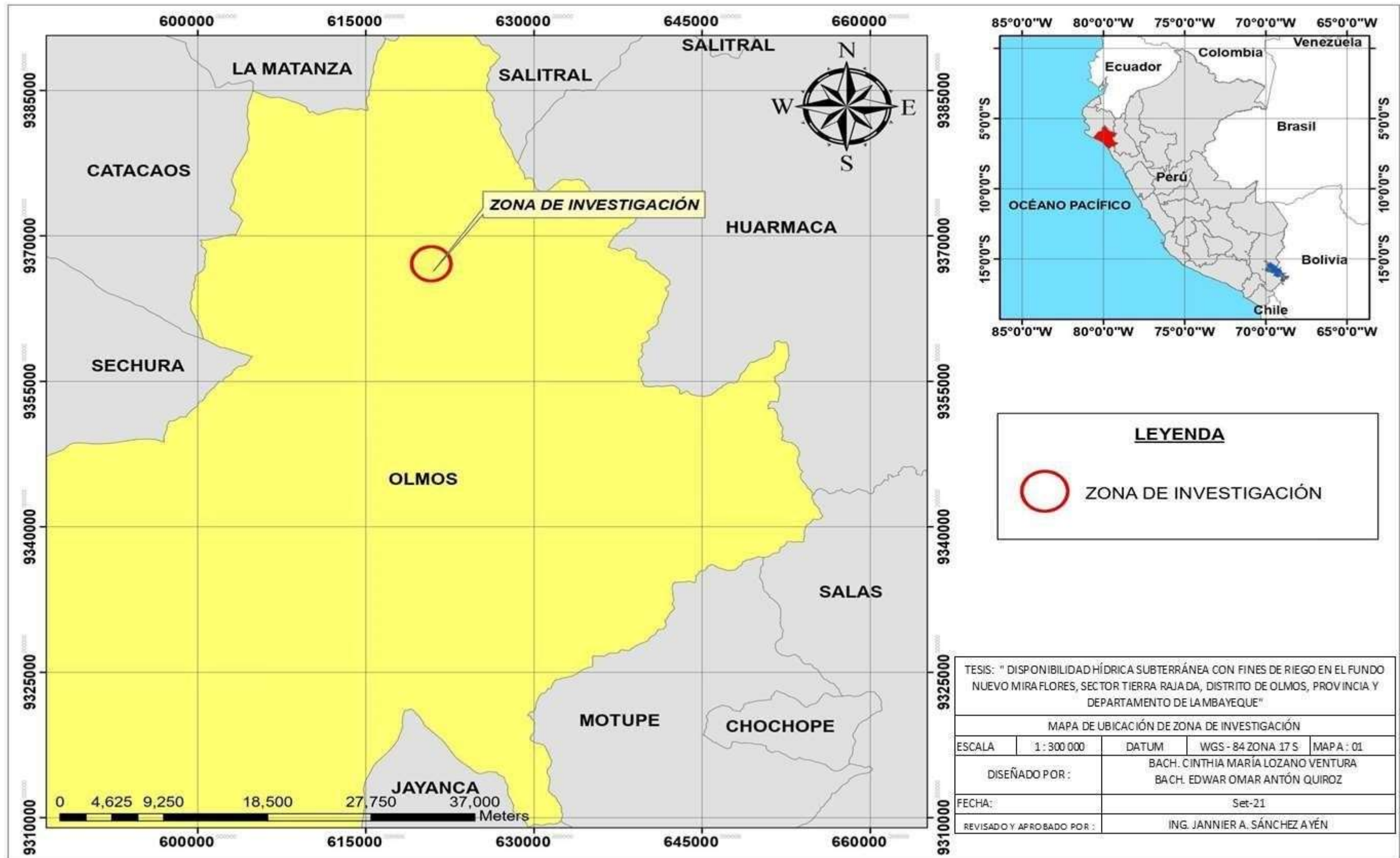


# **ANEXOS**

**A.      RELACION DE MAPAS**

1. MAPA DE UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO
2. MAPA GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICO
3. MAPA DE UBICACIÓN DE SONDEOS Y SECCIONES GEOELÉCTRICAS
4. MAPA DE ESPESORES TOTALES CON LOS DEPOSITOS  
CUATERNARIOS Y HORIZONTESPERMEABLES
5. MAPA GEOFISICO CON LOS RESULTADOS CUANTITATIVOS  
DEL HORIZONTESATURADO
6. MAPA DE UBICACIÓN DEL SECTOR O SECTORES CON  
CONDICIONES GEOFISICASFAVORABLES PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS
7. MAPA DE UBICACIÓN DE POZOS Y FUENTES DE AGUA
8. HIDROISOHIPSAS
9. ISOPROFUNDIDAD DE LA NAPA
10. ISOCONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
11. MAPA DE UBICACIÓN DE POZO PROYECTADO

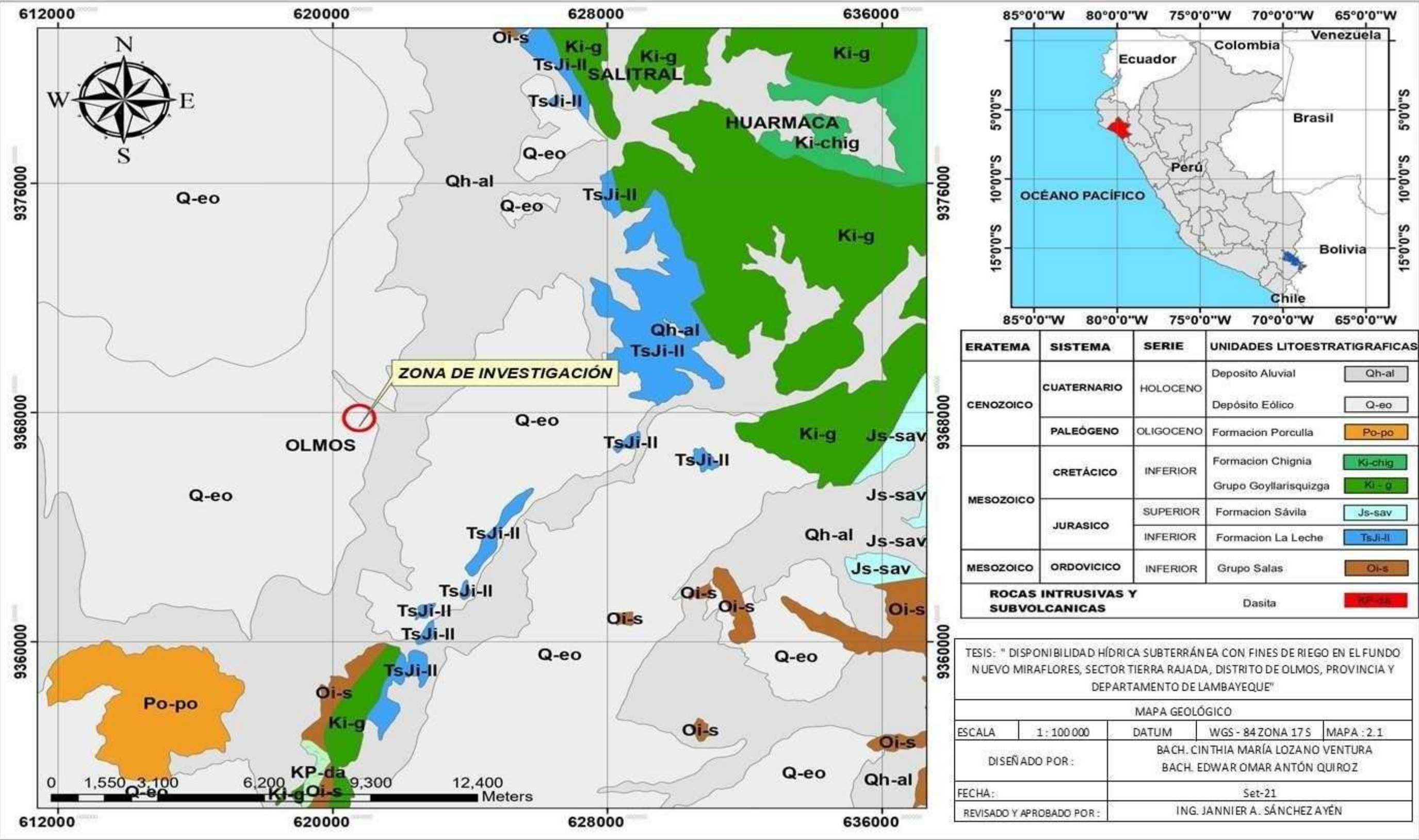
A.1 MAPA DE UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO





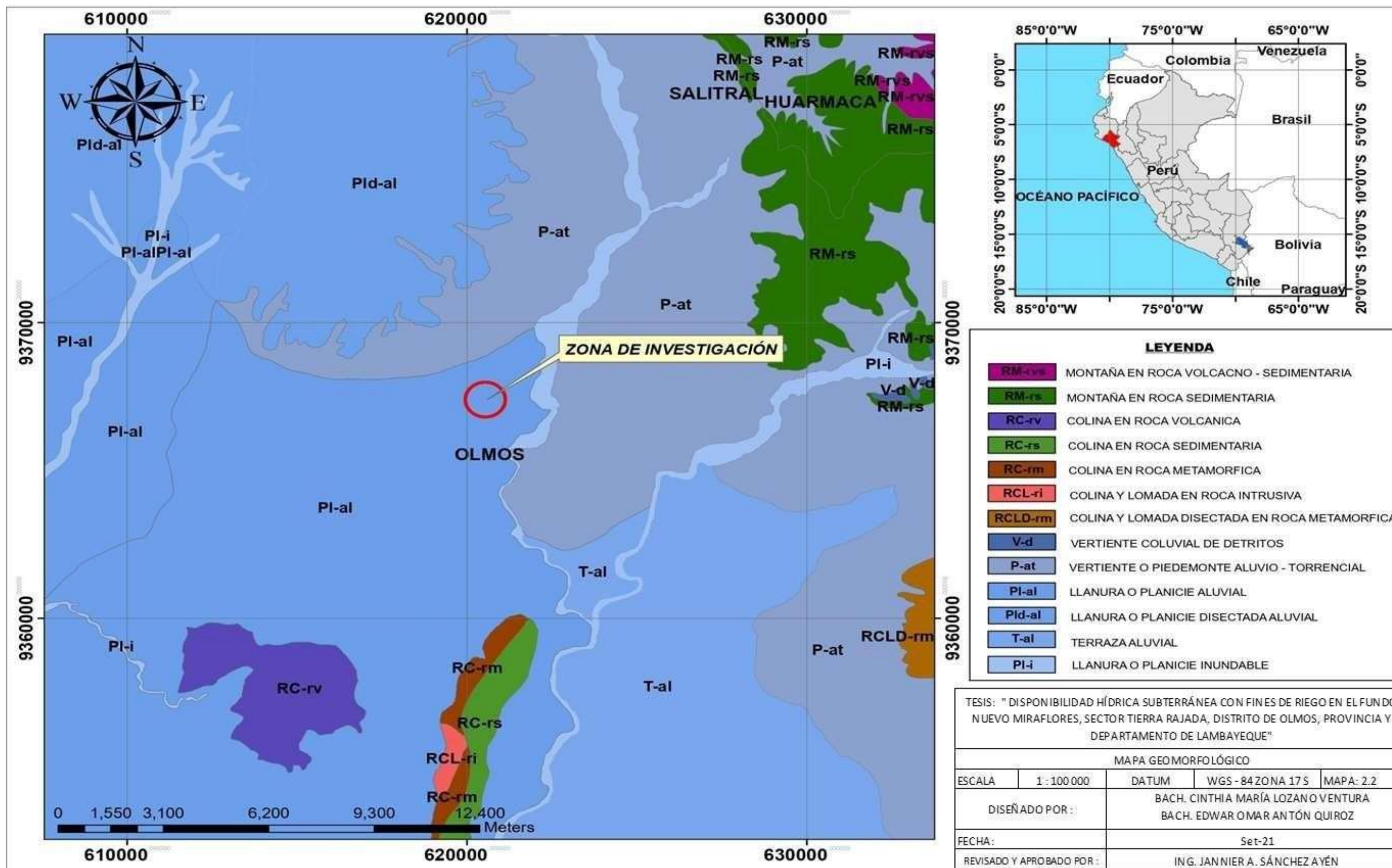
A.2 MAPA GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICO

MAPA GEOLOGICO



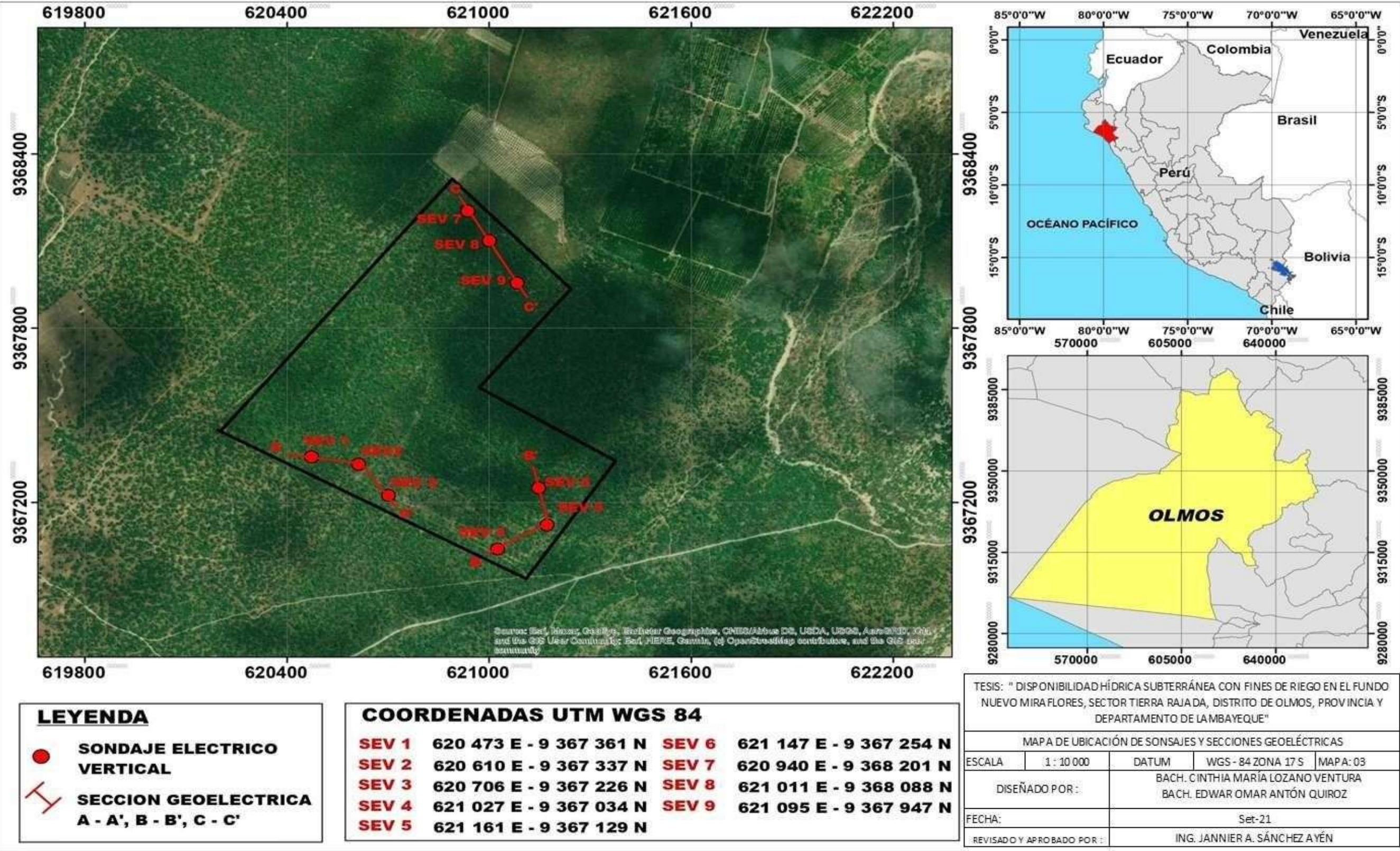


# MAPA GEOMORFOLÓGICO



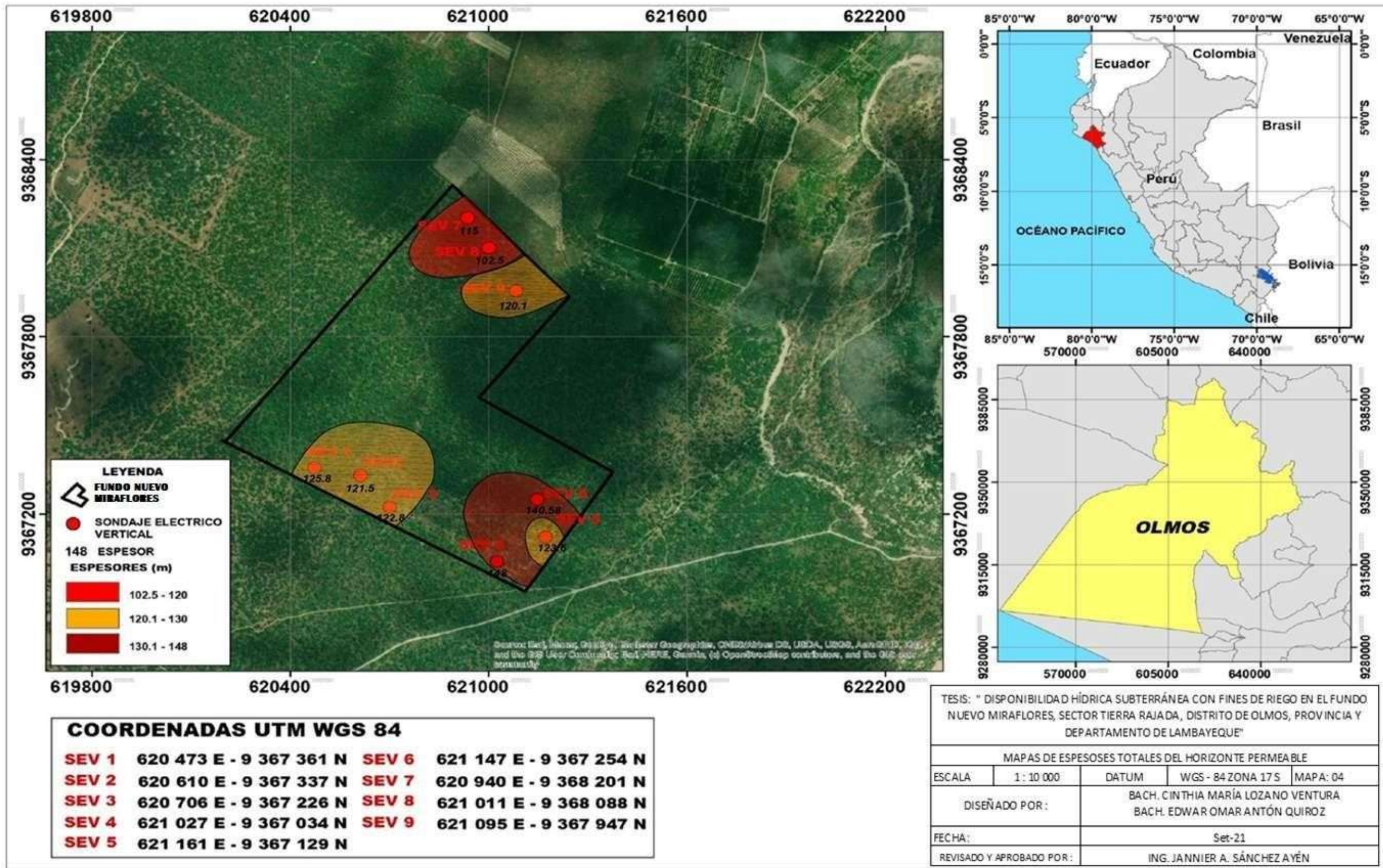


A.3 MAPA DE UBICACIÓN DE SONDEOS Y SECCIONES GEOELÉCTRICAS



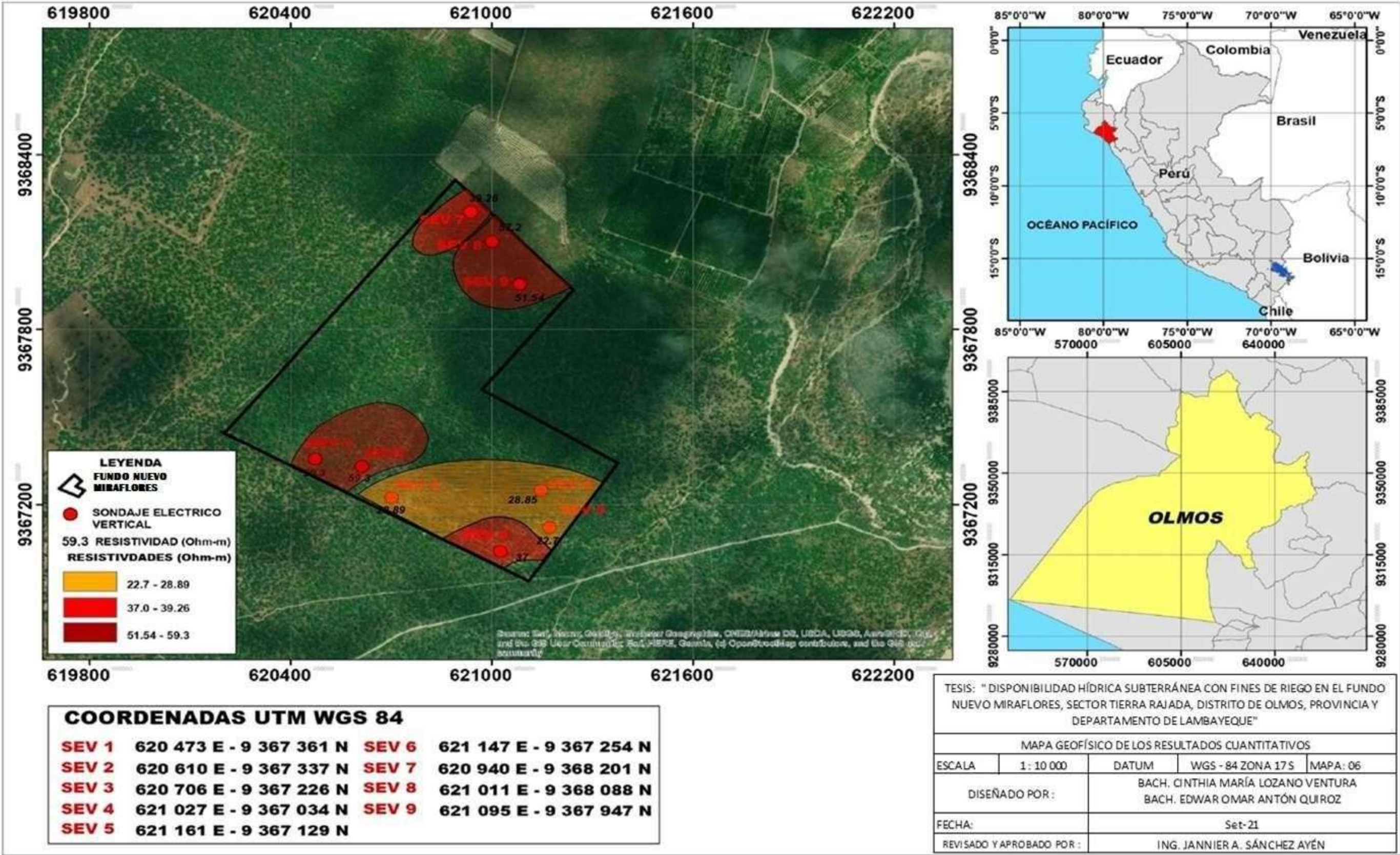


A.4 MAPA DE ESPESORES TOTALES DE LOS DEPOSITOS CUATERNARIOS Y HORIZONTES PERMEABLES



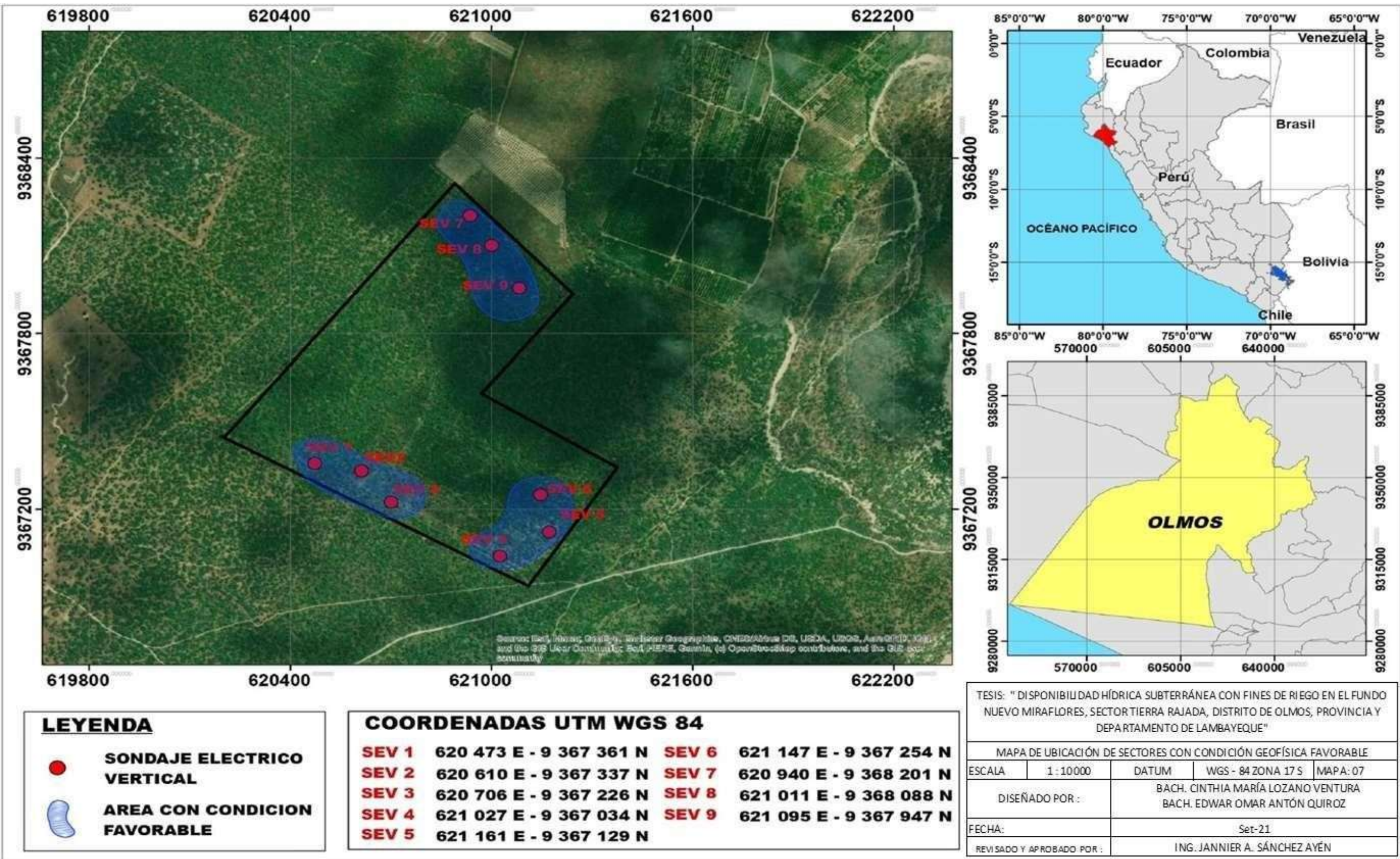


A.5 MAPA GEOFISICO CON LOS RESULTADOS CUANTITATIVOS DEL HORIZONTE SATURADO



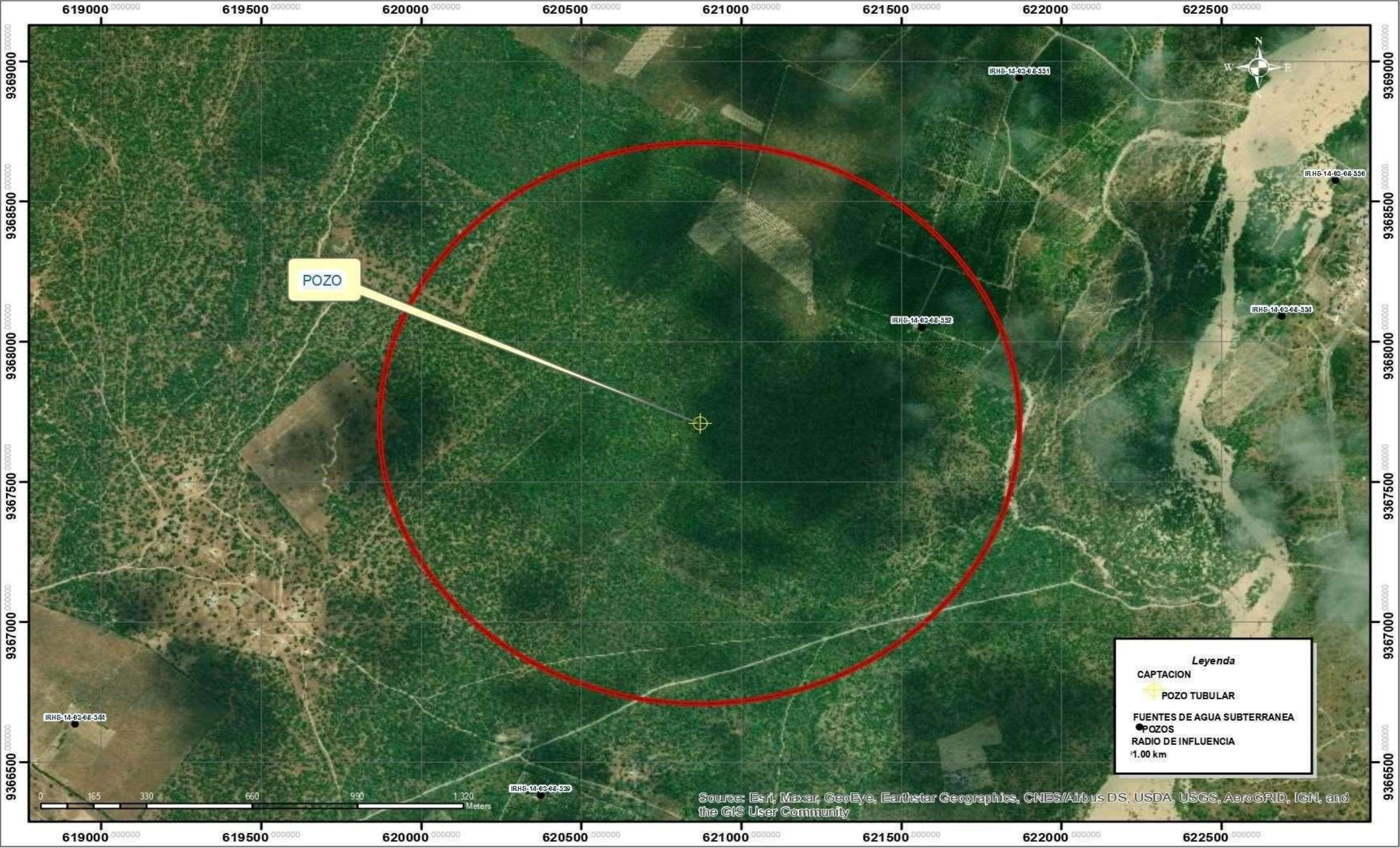


A.6 MAPA DE UBICACIÓN DEL SECTOR O SECTORES CON CONDICIONES FAVORABLES PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS



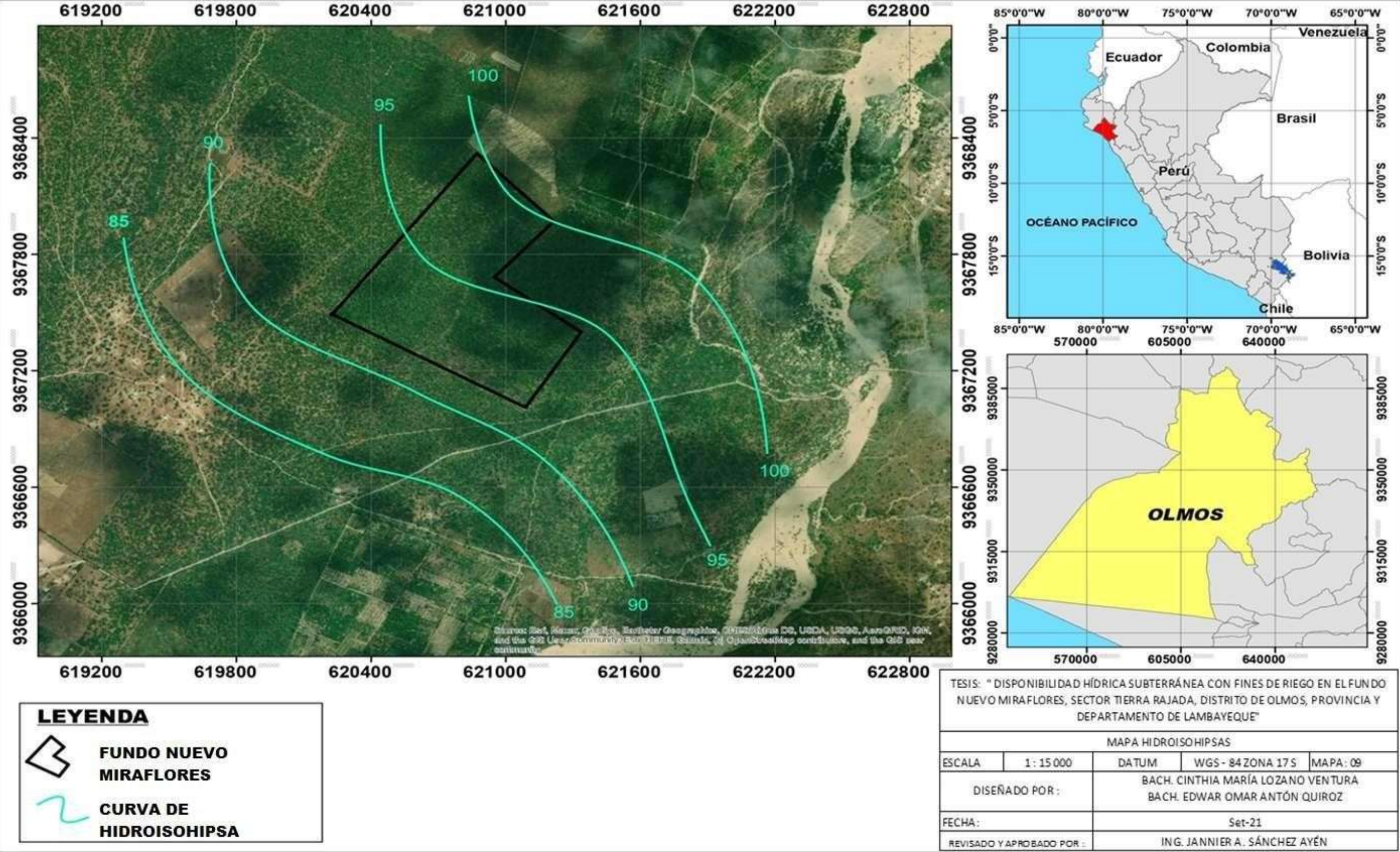


A.7 MAPA DE UBICACIÓN DE POZOS Y FUENTES DE AGUA



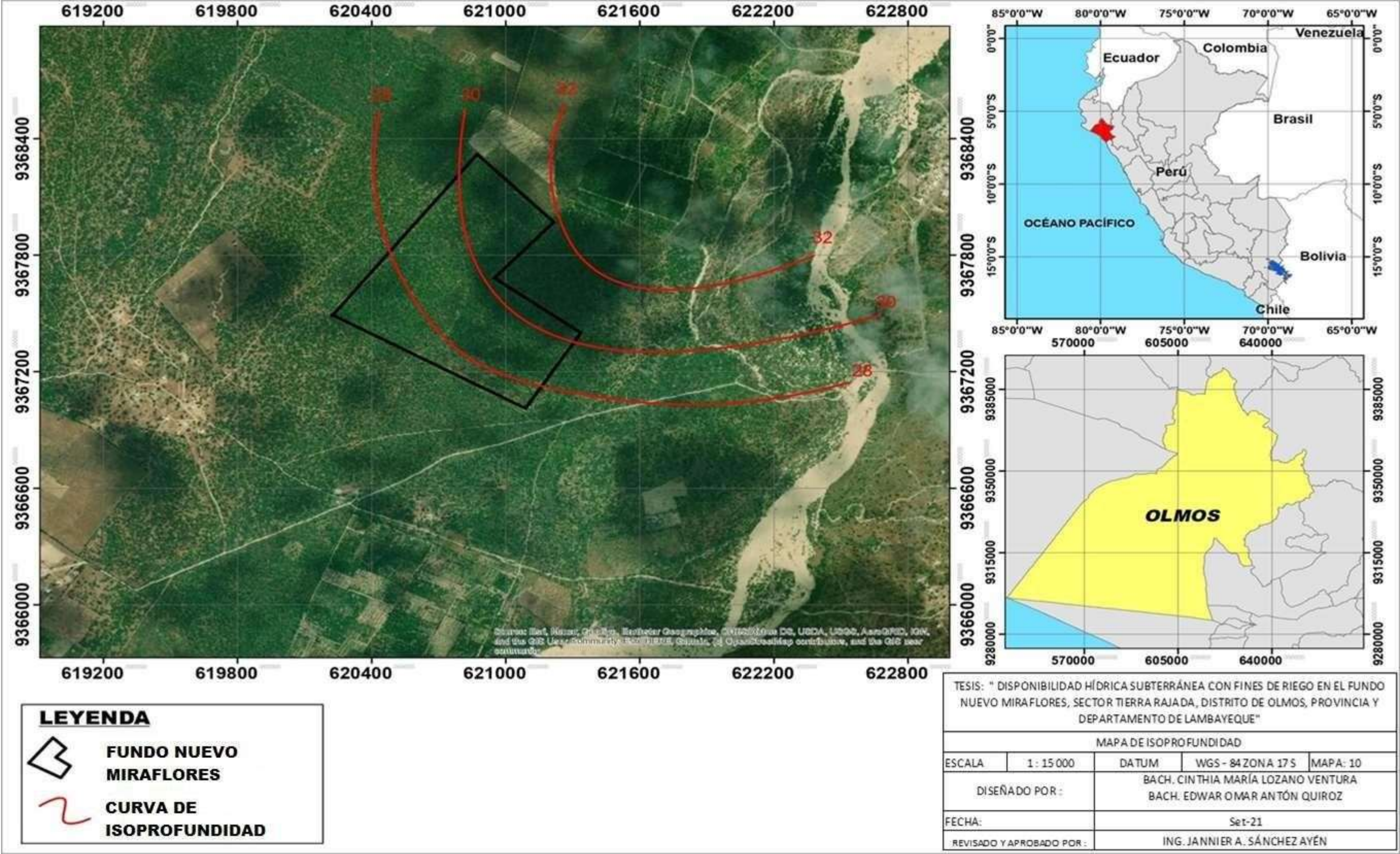


A.8 HIDROISOHIPSAS



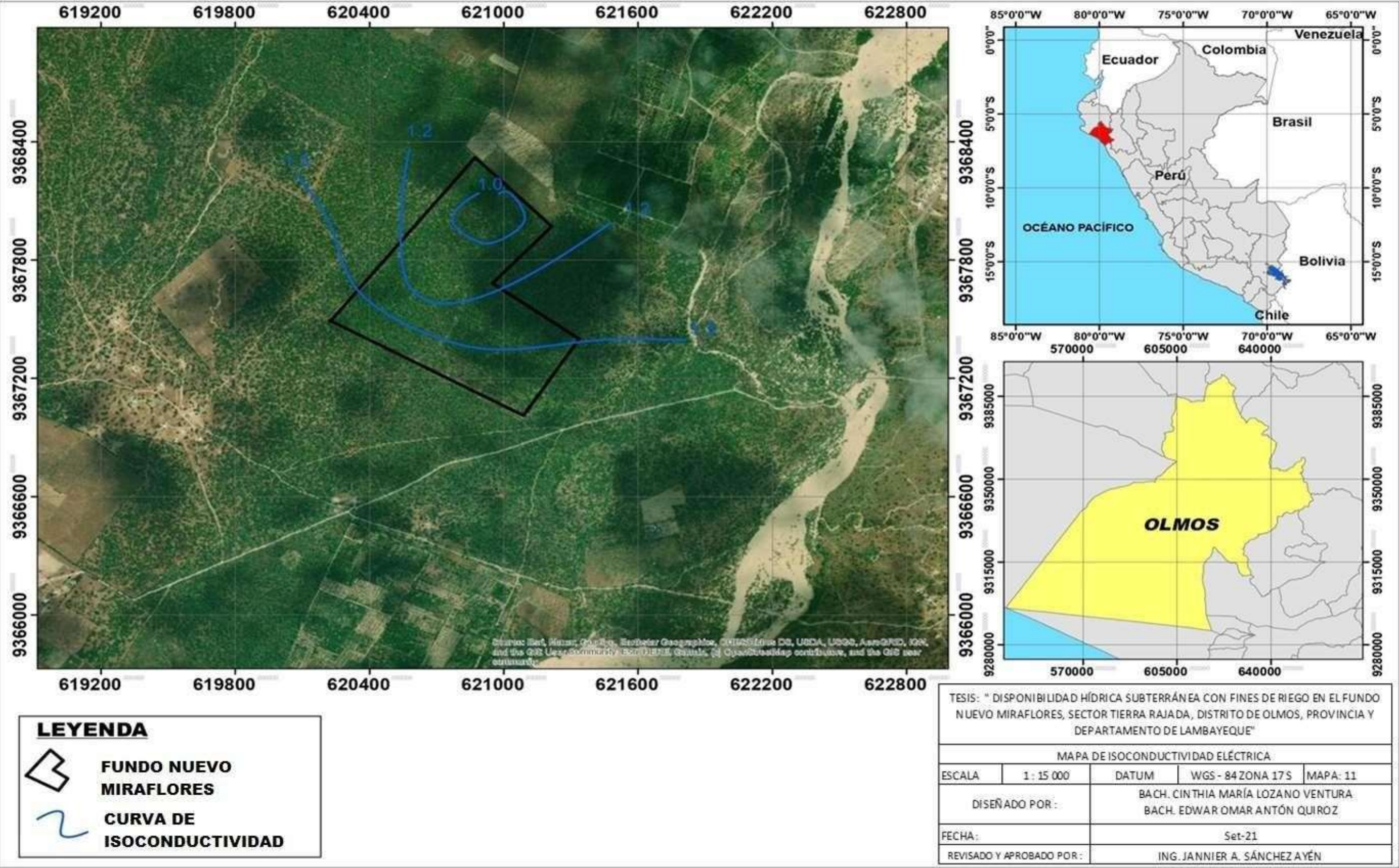


A.9 ISOPROFUNDIDAD DE LA NAPA



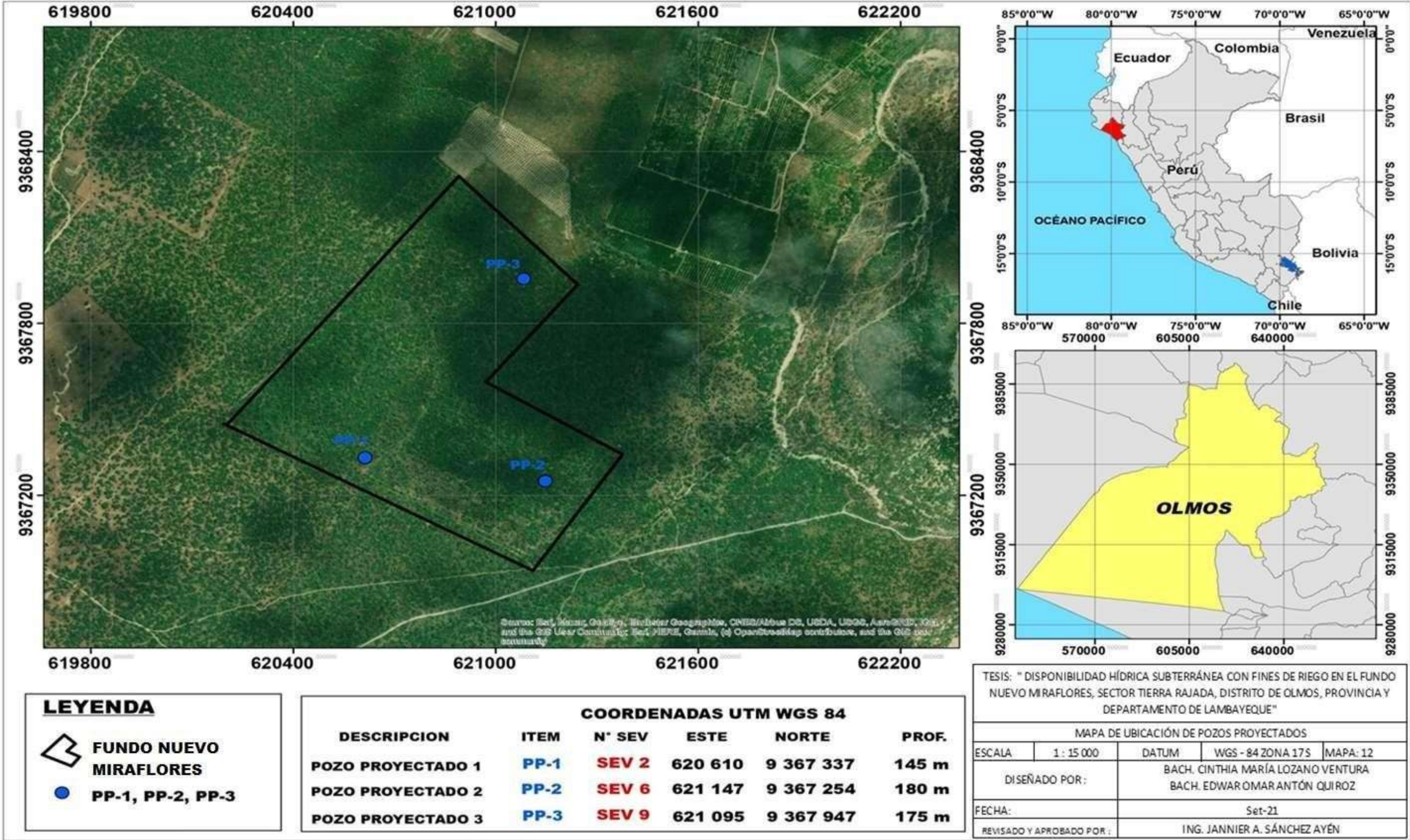


A.10 ISOCONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA





A.11 MAPA DE UBICACIÓN DE POZOS PROYECTADOS



## **B. ANALISIS FISICO – QUIMICO DEL AGUA**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084**

**IE 0617305**

**DATOS DEL CLIENTE/USUARIO**

Razon Social/Usuario	<b>CINTHIA MARÍA LOZANO VENTURA EDWAR OMAR ANTÓN QUIROZ</b>
N° RUC/DNI	<b>10735246726 10427700718</b>
Dirección	<b>Jr. José Santos Chocano N° 476-Frente Banco de La Nación</b>
{Ciudad/Provincia/Distrito	<b>Olmos/Lambayeque/Lambayeque</b>

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha y Hora del Muestreo	<b>15.09.21</b>	Hora:	<b>09:00 am</b>
Tipo de Muestreo	<b>Puntual</b>		
Número de Muestra	<b>01 Muestra de agua de Pozo</b>	N° Frascos x muestra	<b>01</b>
Ensayos solicitados	<b>Análisis Físico Químicos</b>		
Breve descripción del estado de la muestra	<b>La muestra cumple con los requisitos de volumen y preservación.</b>		
Responsable de la toma de muestra	<b>Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.</b>		
Procedencia de la Muestra:	<b>PROYECTO: "DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON FINES DE RIEGO EN EL FUNDO NUEVO MIRAFLORES, SECTOR TIERRA RAJADA, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"</b>		

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato	<b>SC - 351</b>	Cadena de Custodia	<b>CC -305 - 17</b>
N° Orden de Trabajo	<b>0617305</b>		
Fecha y Hora de Recepción	<b>15.09.21</b>		
Fecha de entrega de Ensayo	<b>20.09.21</b>		

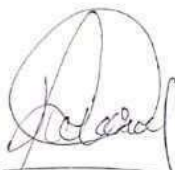
Cajamarca, 20 de Setiembre de 2021.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084**

**ANÁLISIS:**

MUESTRA N° 01	CE US/cm	P.H.	Meg/litro							
			Co3	Hco3	Cl	So4	Ca	Mg	Na	K
Agua	1260.0	6.79	0.0	3.80	6.5	2.5	5.9	4.4	1.9	0.2



Blgo. Enver Zulueta Santa Cruz  
Analista Responsable de Biología  
CBP: 9778

Cajamarca, 20 de Setiembre de 2021.

### **C. PROSPECCION GEOFISICA**

1. GRÁFICOS DE INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA DE LOS RESULTADOS DE LAPROSPECCIÓN GEOFÍSICA
2. SECCIÓN GEOFÍSICA
3. PRUEBA DE BOMBEO O ACUÍFERO
4. DIAGRAMA DE PIPER
5. DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE AGUA
6. CLASIFICACION DE AGUA PARA RIEGO SEGÚN RAS Y C.E
7. DISEÑO TECNICO DEL POZO PROYECTADO

## C.1 GRAFICOS DE LA INTERPRETACION CUANTITATIVA DE LOS RESULTADOS DE LA PROSPECCIÓN GEOFISICA

SEV 01



SEV 02



### SEV 03



### SEV 04



## SEV 05



## SEV 06



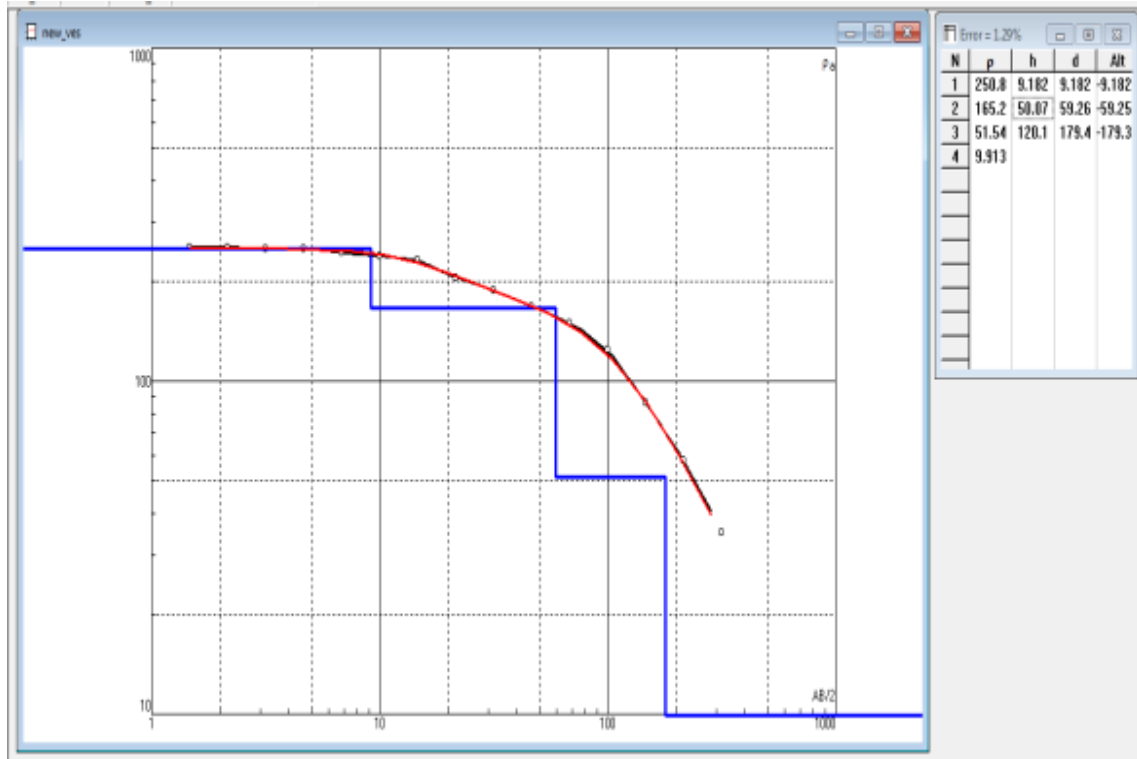
# SEV 07



# SEV 08

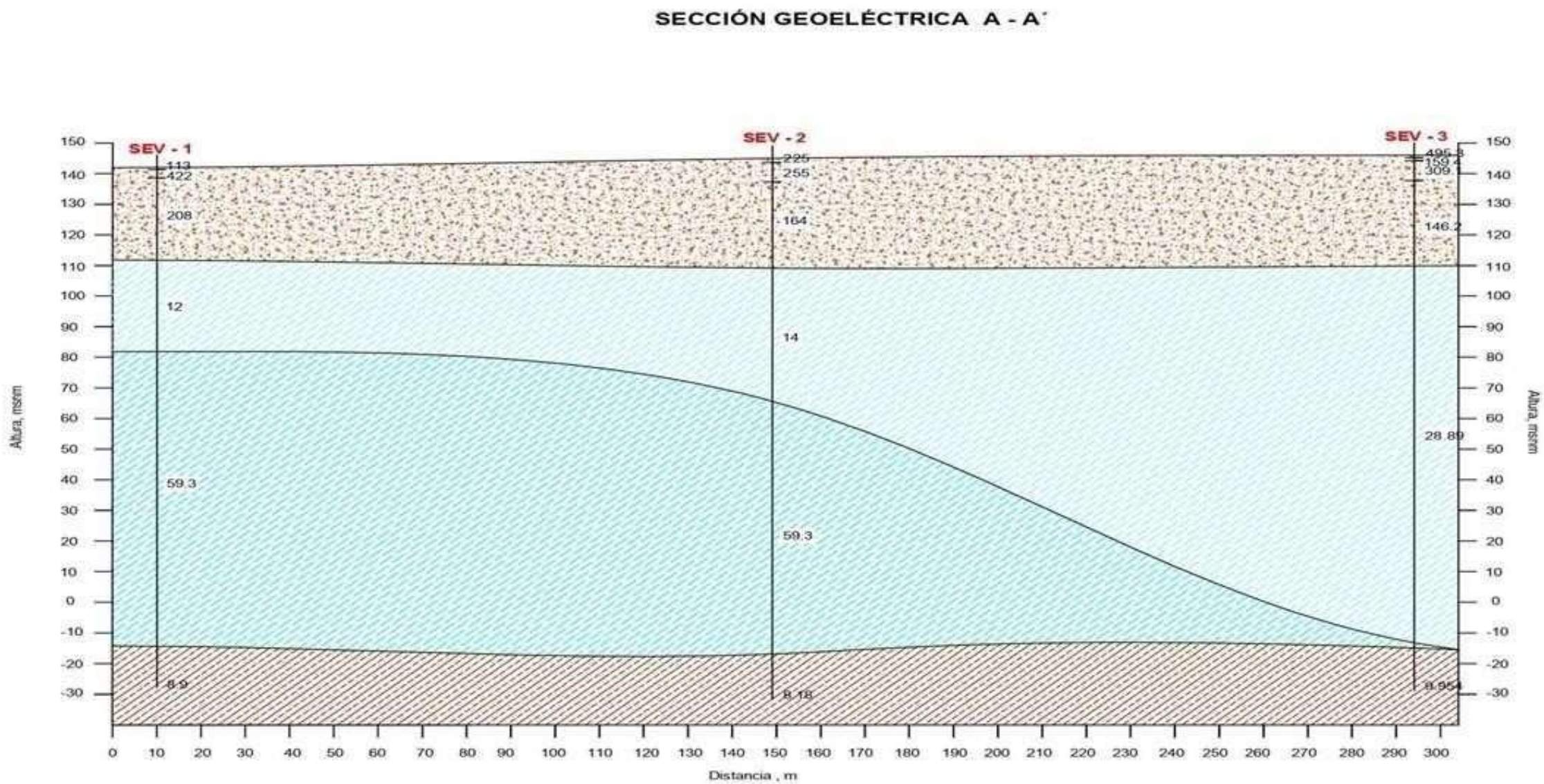


# SEV 09





C.2 SECCIONES GEOFÍSICAS  
C.2.1 SECCION A - A'



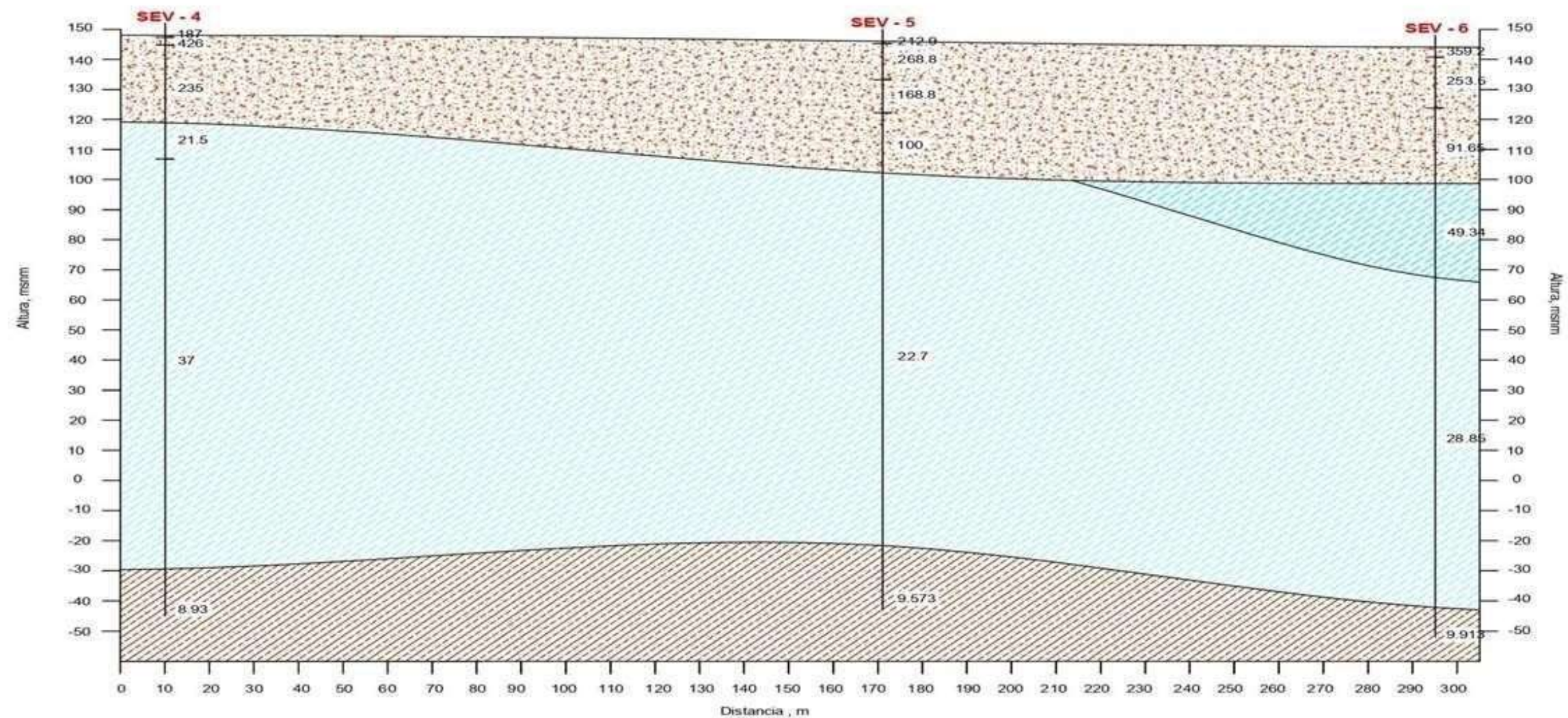
LEYENDA	
ARENAS SECAS	
ACUIFERO SATURADO (ARENAS LIMOSAS)	
ACUIFERO SATURADO (ARENAS Y GRAVAS)	
ARCILLAS	
SONDEO ELECTRICO	SEV - 2
RESISTIVIDAD ELECTRICA Ohm-m	59.3

INVESTIGACIONES GEOFISICAS		LAMINA:
"FUNDO NUEVO MIRAFLORES, SECTOR TIERRA RAJADA, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"		03
SECCIÓN GEOELÉCTRICA A-A'		
REVISADO Y APROBADO POR: ING. JANNIER A. SÁNCHEZ AYÉN	ELABORADO:	ESCALA:
	BACH. CINTHIA LOZANO BACH. EDUAR ANTÓN	INDICADA FECHA: JULIO 2020



## C.2.2 SECCION B - B'

### SECCIÓN GEOELÉCTRICA B - B'



#### LEYENDA

ARENAS SECAS



ACUIFERO SATURADO (ARENAS LIMOSAS)



ACUIFERO SATURADO (ARENAS Y GRAVAS)



ARCILLAS



SONDEO ELECTRICO

SEV - 6

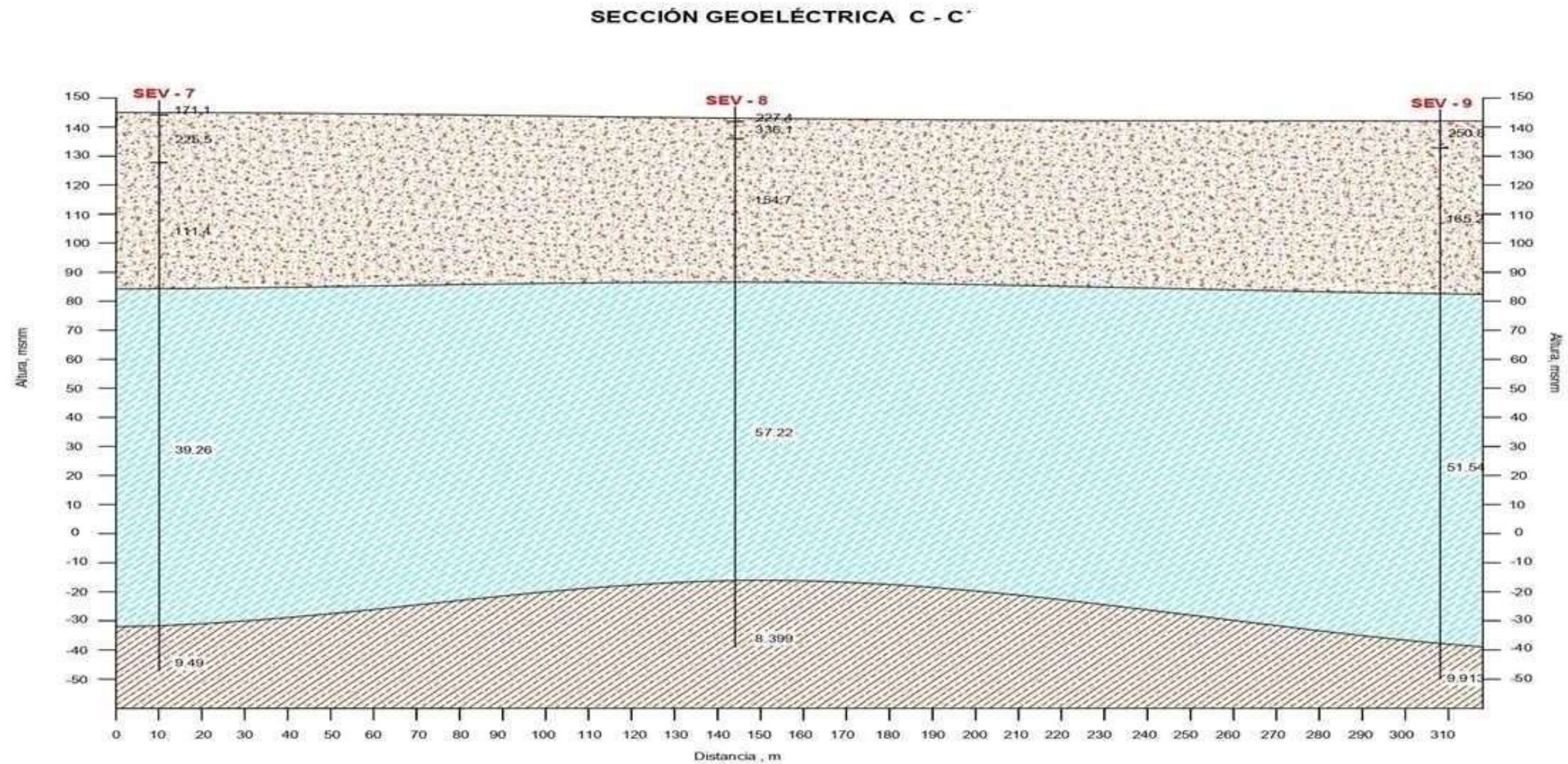
RESISTIVIDAD ELECTRICA Ohm-m

49.34

INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS		LÁMINA:
"FUNDO NUEVO MIRAFLORES, SECTOR TIERRA RAJADA, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"		04
SECCIÓN GEOELÉCTRICA B-B'		
REVISADO Y APROBADO POR: ING. JANNIER A. SÁNCHEZ AYÉN	ELABORADO:	ESCALA:
	BACH. CINTHIA LO ZANO BACH. EDUAR ANTÓN	INDICADA FECHA: JULIO 2020



### C.2.3 SECCION C - C'



#### LEYENDA

ARENAS SECAS



ACUIFERO SATURADO (ARENAS Y GRAVAS)



ARCILLAS



SONDEO ELECTRICO

SEV - 8

RESISTIVIDAD ELECTRICA Ohm-m

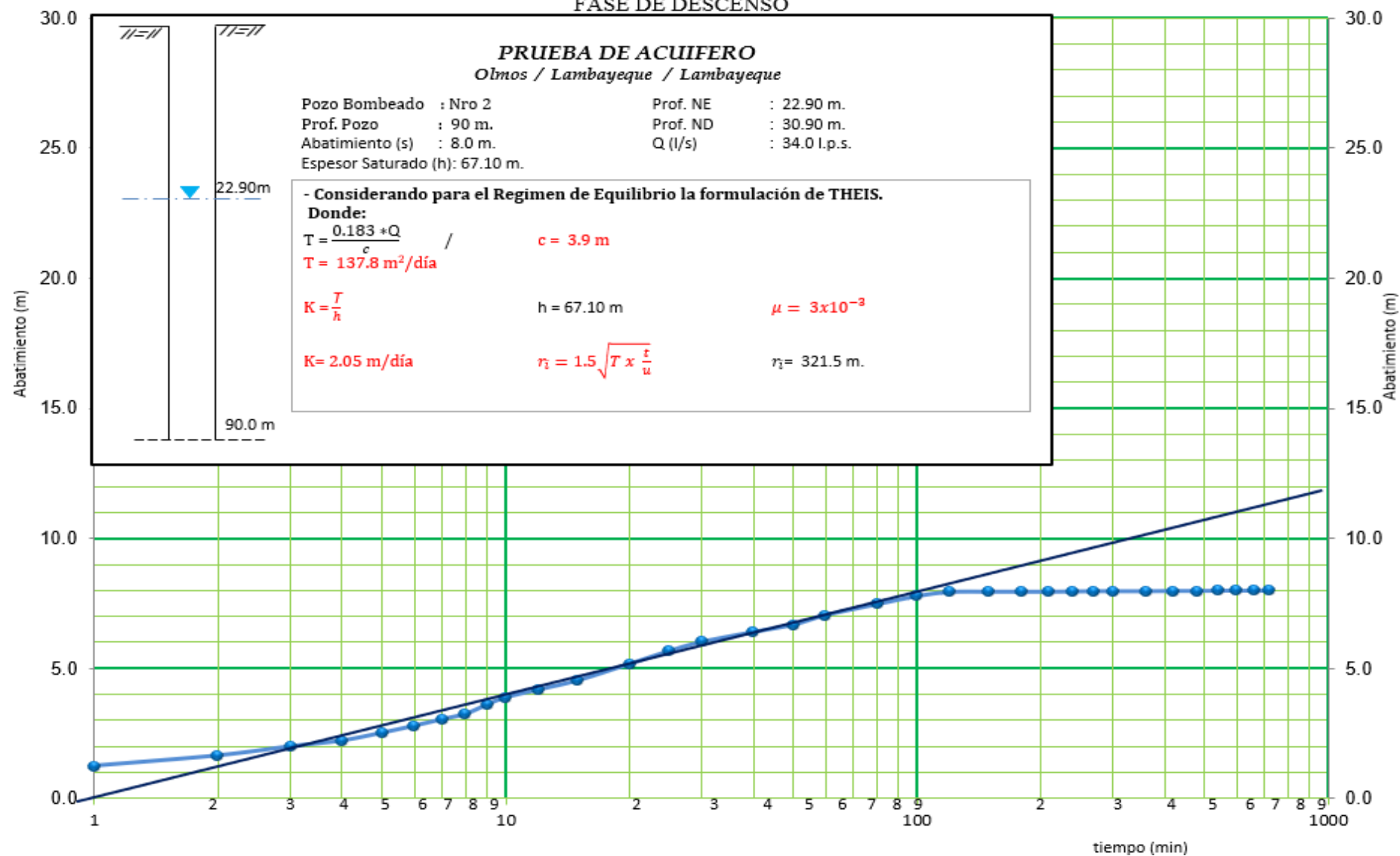
57.22

INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS		LAMINA:
"FUNDO NUEVO MIRAFLORES, SECTOR TIERRA RAJADA, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"		05
SECCIÓN GEOELÉCTRICA C-C'		
REVISADO Y APROBADO POR: ING. JANNIER A. SÁNCHEZ AYÉN	ELABORADO: BACH. CINTHIA LOZANO BACH. EDUAR ANTÓN	ESCALA:
		INDICADA:
		FECHA: JULIO 2020

### C.3 PRUEBA DE ACUÍFERO O DE BOMBEO

DESCENSO DEL NIVEL DEL AGUA - EL 1er REGIMEN					
Hora	Min	Seg	Nivel Dinámico N.D. (m)	Abatimiento (m)	Caudal Q (l/s)
07:00:00 a.m.	0	0	22.90	0.00	
07:01:00 a.m.	1	60	24.16	1.26	
07:02:00 a.m.	2	120	24.56	1.66	
07:03:00 a.m.	3	180	24.91	2.01	
07:04:00 a.m.	4	240	25.13	2.23	
07:05:00 a.m.	5	300	25.43	2.53	
07:06:00 a.m.	6	360	25.70	2.80	
07:07:00 a.m.	7	420	25.95	3.05	
07:08:00 a.m.	8	480	26.16	3.26	
07:09:00 a.m.	9	540	26.51	3.61	
07:10:00 a.m.	10	600	26.79	3.89	28.0
07:12:00 a.m.	12	720	27.09	4.19	
07:15:00 a.m.	15	900	27.45	4.55	
07:20:00 a.m.	20	1200	28.08	5.18	
07:25:00 a.m.	25	1500	28.58	5.68	
07:30:00 a.m.	30	1800	28.93	6.03	32.0
07:40:00 a.m.	40	2400	29.31	6.41	
07:50:00 a.m.	50	3000	29.59	6.69	
08:00:00 a.m.	60	3600	29.96	7.06	31.0
08:20:00 a.m.	80	4800	30.38	7.48	
08:40:00 a.m.	100	6000	30.69	7.79	
09:00:00 a.m.	120	7200	30.85	7.95	30.0
09:30:00 a.m.	150	9000	30.86	7.96	
10:00:00 a.m.	180	10800	30.86	7.96	29.0
10:30:00 a.m.	210	12600	30.86	7.96	
11:00:00 a.m.	240	14400	30.87	7.97	
11:30:00 a.m.	270	16200	30.88	7.98	
12:00:00 p.m.	300	18000	30.88	7.98	29.0
01:00:00 p.m.	360	21600	30.88	7.98	
02:00:00 p.m.	420	25200	30.89	7.99	
03:00:00 p.m.	480	28800	30.89	7.99	
04:00:00 p.m.	540	32400	30.90	8.00	
05:00:00 p.m.	600	36000	30.90	8.00	30.0
06:00:00 p.m.	660	39600	30.90	8.00	
07:00:00 p.m.	720	43200	30.90	8.00	

PRUEBA DE ACUÍFERO  
POZO TUBULAR N° 2 - FUNDO NUEVO MIRAFLORES  
FASE DE DESCENSO





## FASE DE RECUPERACIÓN

OCTUBRE 2021

Propietario del Pozo: FUNDO NUEVO MIRAFLORES  
 N° IRHS : S/N  
 Ejecutores: BACH. CINTHIA MARÍA LOZANO VENTURA  
 BACH. EDWAR OMAN ANTÓN QUIROZ

Departamento: LAMBAYEQUE  
 Provincia: LAMBAYEQUE  
 Distrito: OLMOS  
 Lugar: TIERRA RAJADA

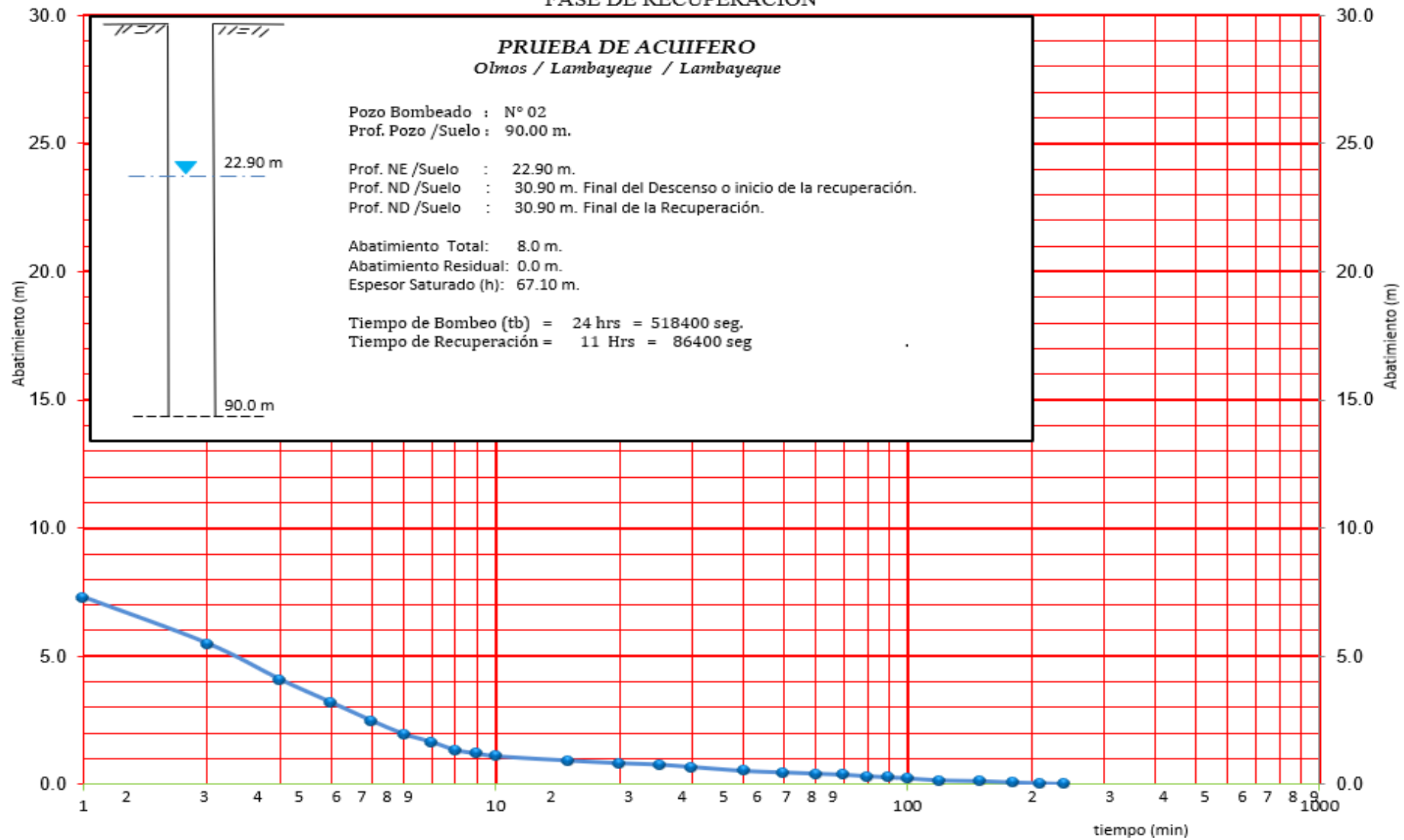
Revisado y Aprobado por : ING. JANNIER A. SÁNCHEZ AYÉN

NE= Nivel Estático  
 PR= Punto de Referencia

Tiempo de Bombeo (Tb)= 86400 seg  
 Prof NE/Suelo= 29.49 m.  
 Prof PR/Suelo= 0.00 m.

TIEMPO DE RECUPERACION (Tr)				RECUPERACION DEL NIVEL DEL AGUA		OBSERVACIONES
Fecha	Hora	Min	Seg	Prof ND/PR (m)	Abatimiento (m)	
18/09/2021	07:00:00 a. m.	0	0	32.90	10.00	
18/09/2021	07:01:00 a. m.	1	60	30.20	7.30	
18/09/2021	07:02:00 a. m.	2	120	28.40	5.50	
18/09/2021	07:03:00 a. m.	3	180	27.00	4.10	
18/09/2021	07:04:00 a. m.	4	240	26.10	3.20	
18/09/2021	07:05:00 a. m.	5	300	25.40	2.50	
18/09/2021	07:06:00 a. m.	6	360	24.87	1.97	
18/09/2021	07:07:00 a. m.	7	420	24.57	1.67	
18/09/2021	07:08:00 a. m.	8	480	24.25	1.35	
18/09/2021	07:09:00 a. m.	9	540	24.12	1.22	
18/09/2021	07:10:00 a. m.	10	600	24.01	1.11	
18/09/2021	07:15:00 a. m.	15	900	23.84	0.94	
18/09/2021	07:20:00 a. m.	20	1200	23.74	0.84	
18/09/2014	07:25:00 a. m.	25	1500	23.68	0.78	
18/09/2014	07:30:00 a. m.	30	1800	23.59	0.69	
18/09/2014	07:40:00 a. m.	40	2400	23.44	0.54	
18/09/2014	07:50:00 a. m.	50	3000	23.38	0.48	
18/09/2014	08:00:00 a. m.	60	3600	23.33	0.43	
18/09/2014	08:10:00 a. m.	70	4200	23.29	0.39	
18/09/2014	08:20:00 a. m.	80	4800	23.23	0.33	
18/09/2014	08:30:00 a. m.	90	5400	23.19	0.29	
18/09/2014	08:40:00 a. m.	100	6000	23.15	0.25	
18/09/2014	09:00:00 a. m.	120	7200	23.07	0.17	
18/09/2014	09:30:00 a. m.	150	9000	23.04	0.14	
18/09/2014	10:00:00 a. m.	180	10800	22.09	0.09	
18/09/2014	10:30:00 a. m.	210	12600	22.96	0.06	
18/09/2014	11:00:00 a. m.	240	14400	22.93	0.03	
18/09/2014	12:00:00 p. m.	300	18000	22.90	0.00	

**PRUEBA DE ACUÍFERO**  
**POZO TUBULAR N° 2 - FUNDO NUEVO MIRAFLORES**  
**FASE DE RECUPERACIÓN**



#### C.4 DIAGRAMA DE PIPER

##### POZO TUBULAR

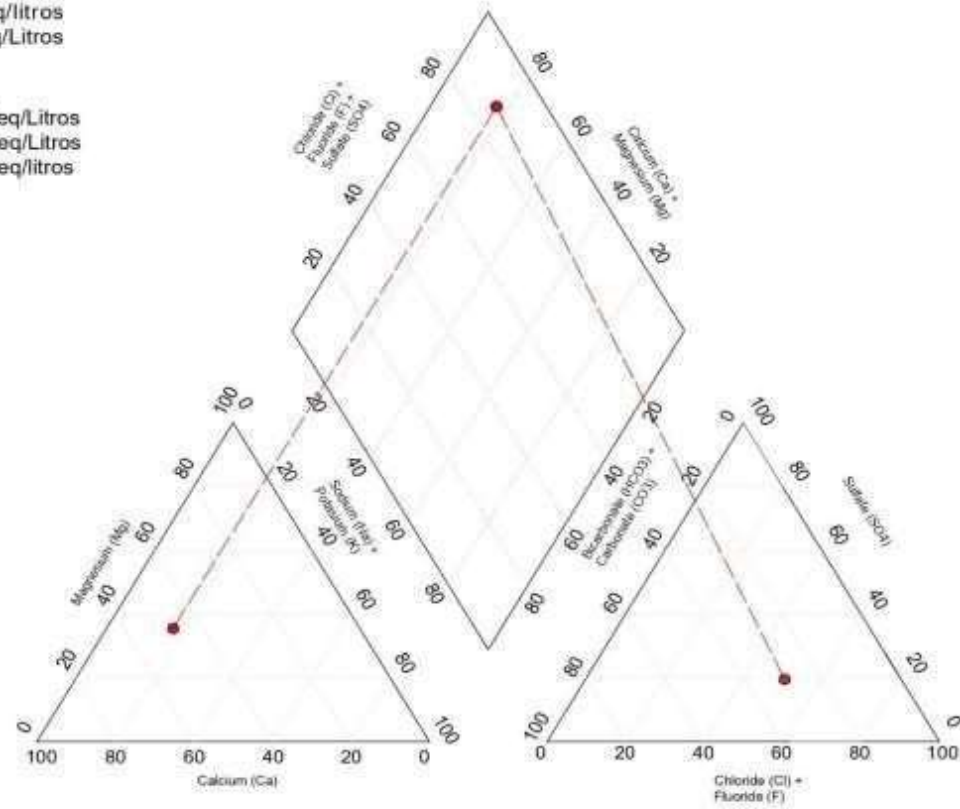


##### Cationes

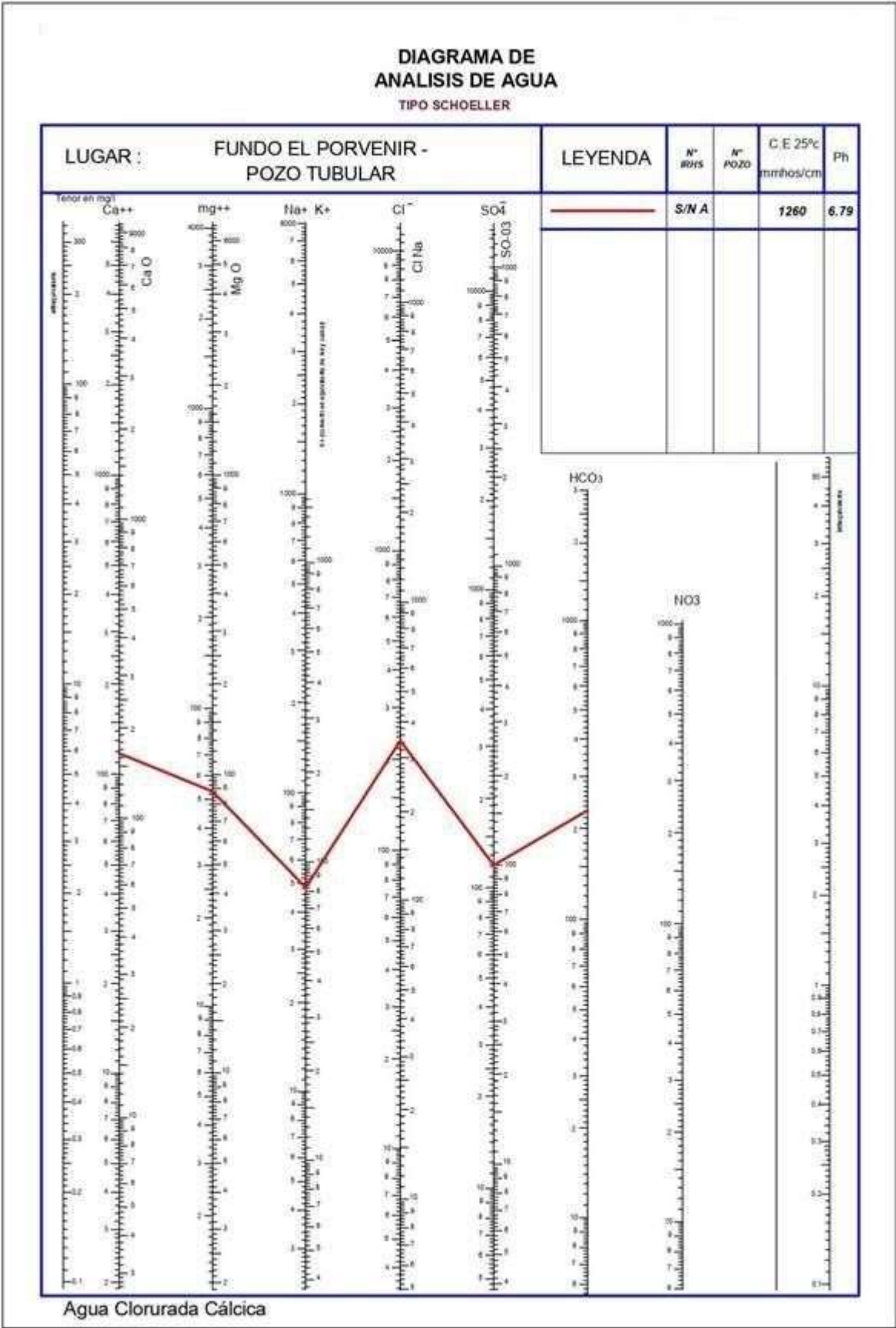
- Ca = 5.9 Meq/Litros
- Mg = 4.4 Meq/Litros
- Na = 1.9 Meq/litros
- K = 0.2 Meq/Litros

##### Aniones

- HCo3 = 3.8 Meq/Litros
- Cl = 6.5 Meq/Litros
- So4 = 2.5 Meq/litros

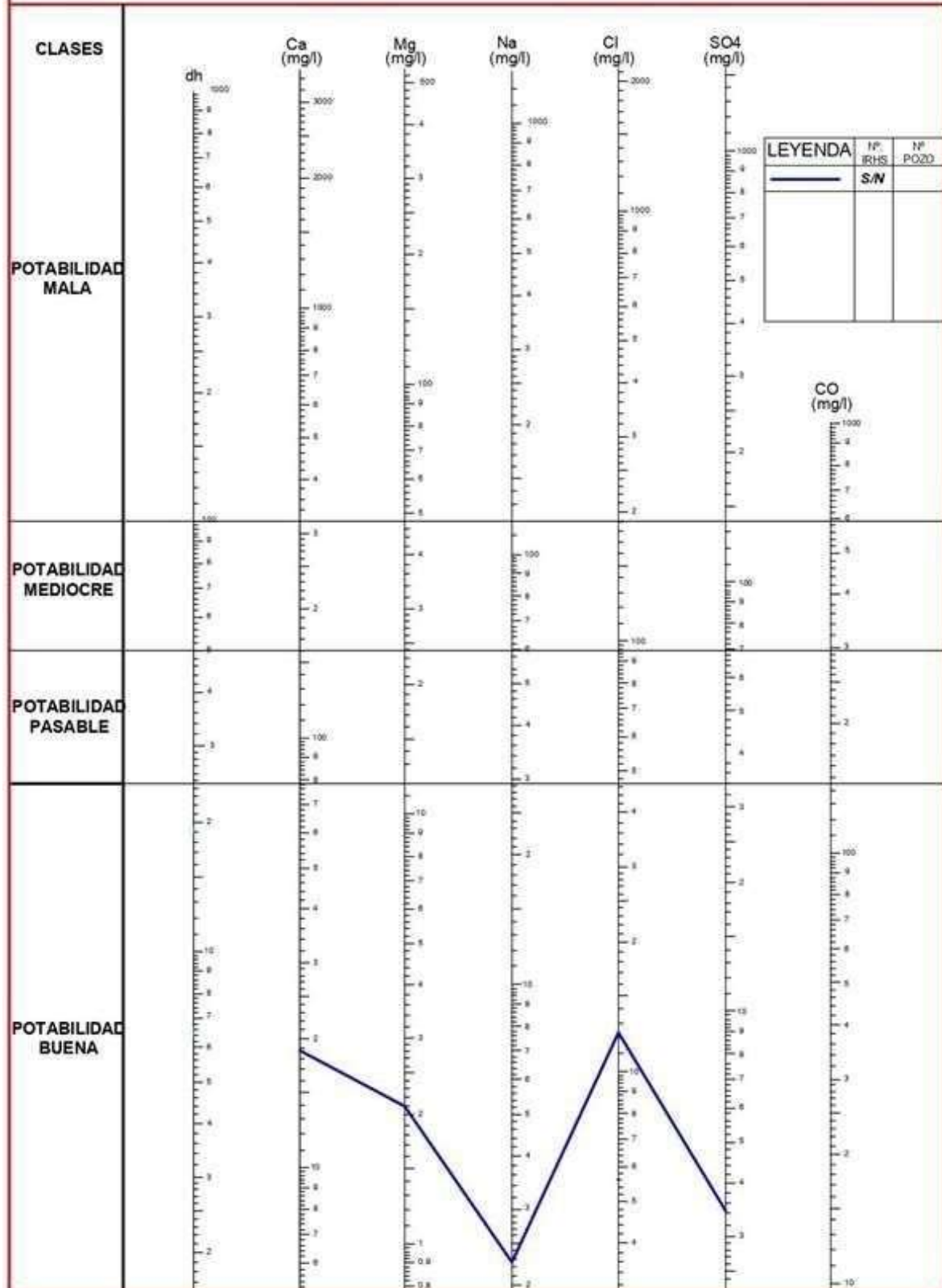


C.5 DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE AGUA

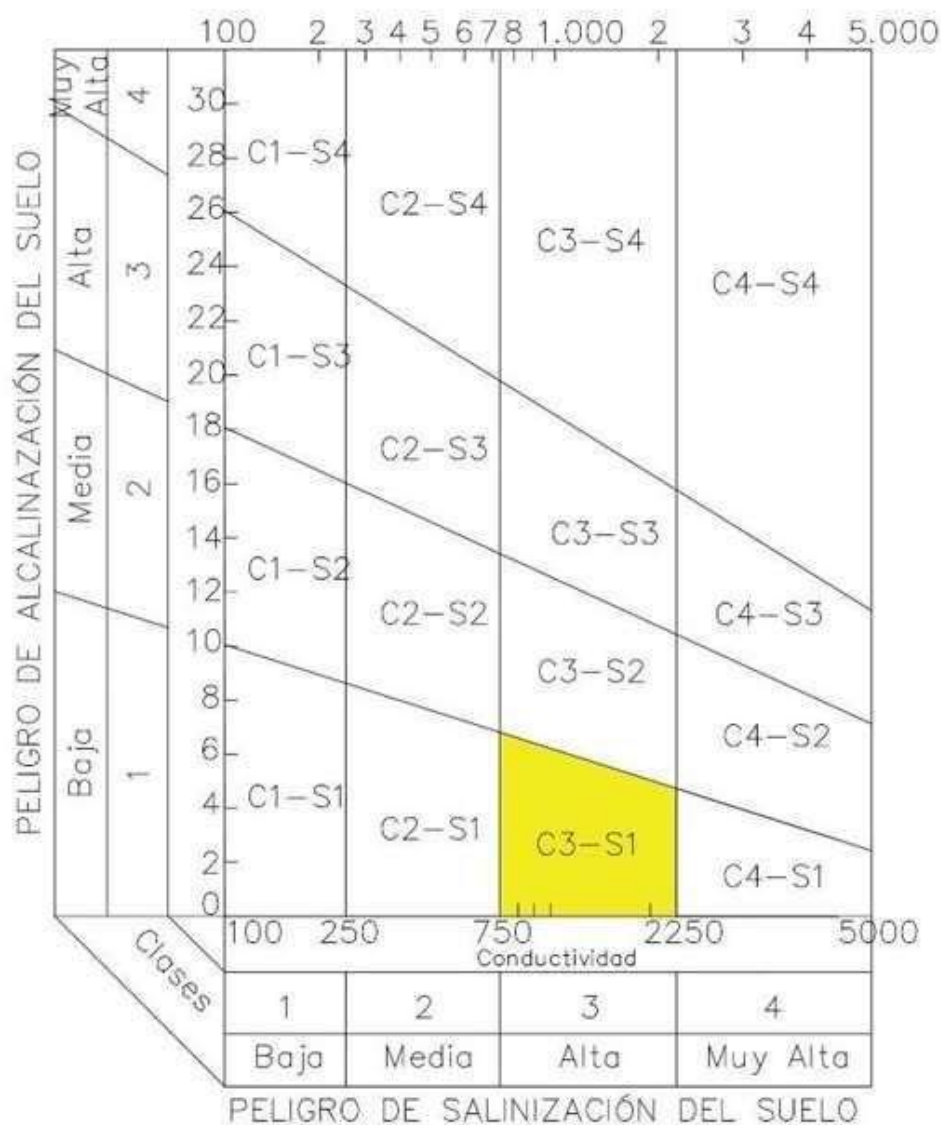




## DIAGRAMA DE POTABILIDAD DE AGUA



## C.6 CLASIFICACION DE AGUA PARA RIEGO SEGÚN EL RAS Y C.E

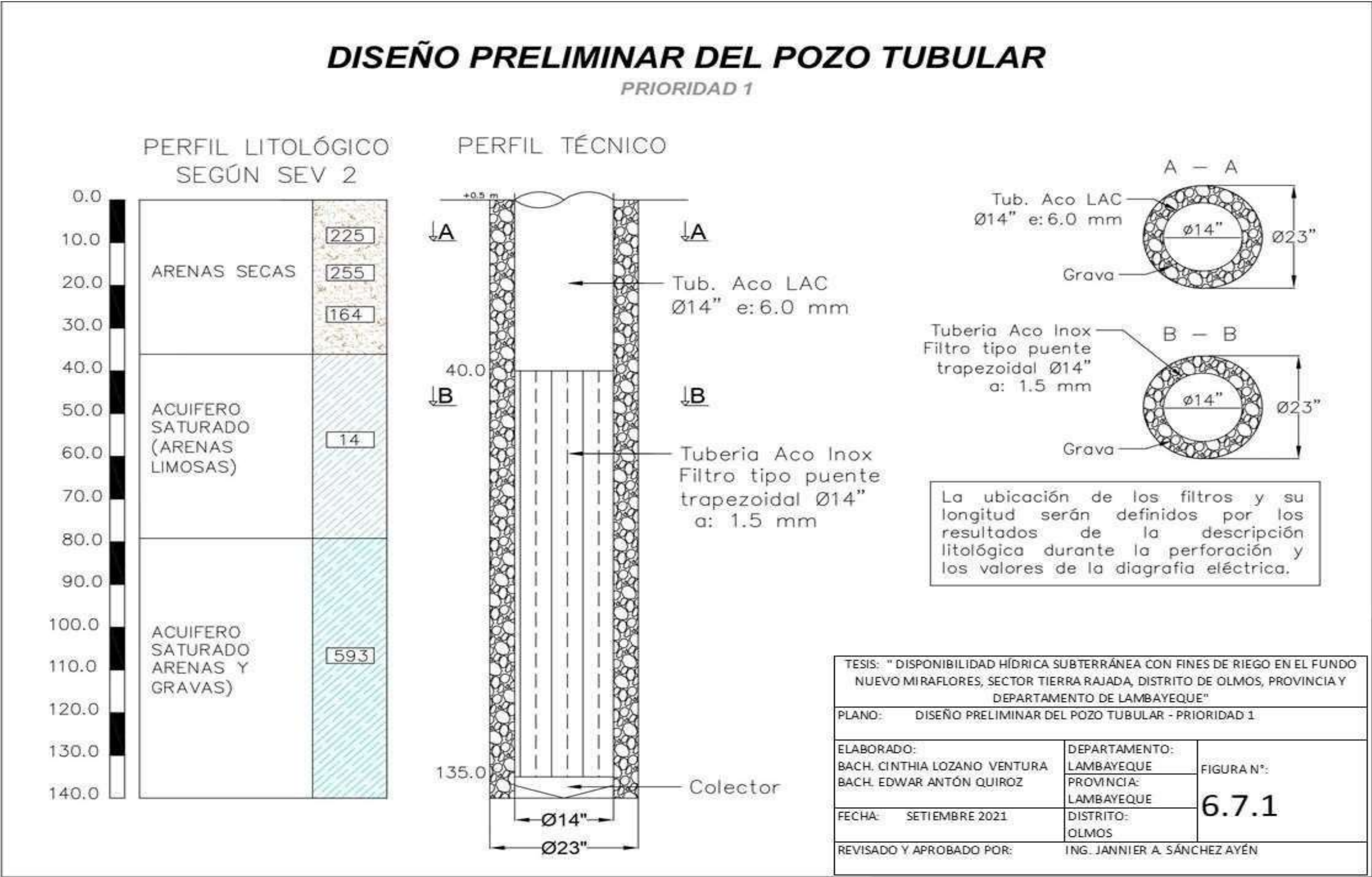


- C1: Agua de baja salinidad, apta para riego en todos los casos.  
 C2: Agua de salinidad media, apta para el riego.  
 C3: Agua de salinidad alta, puede utilizarse para riego de suelos con buen drenaje.  
 C4: Agua de salinidad alta, en muchos casos no apta para riego.  
 C5: Agua de salinidad excesiva, solo debe emplearse en casos muy contados.

- S1: Agua con bajo contenido de NA, apta para riego en la mayoría de los casos.  
 S2: Agua con contenido medio en NA, cierto peligro de acumulación de NA en el suelo.  
 S3: Agua con alto contenido en NA, y gran peligro de acumulación de NA en el suelo.  
 S4: Agua con contenido muy alto en NA, no es aconsejable para el riego en general.

C.7 DISEÑO TÉCNICO DEL POZO PROYECTADO

PRIORIDAD 1

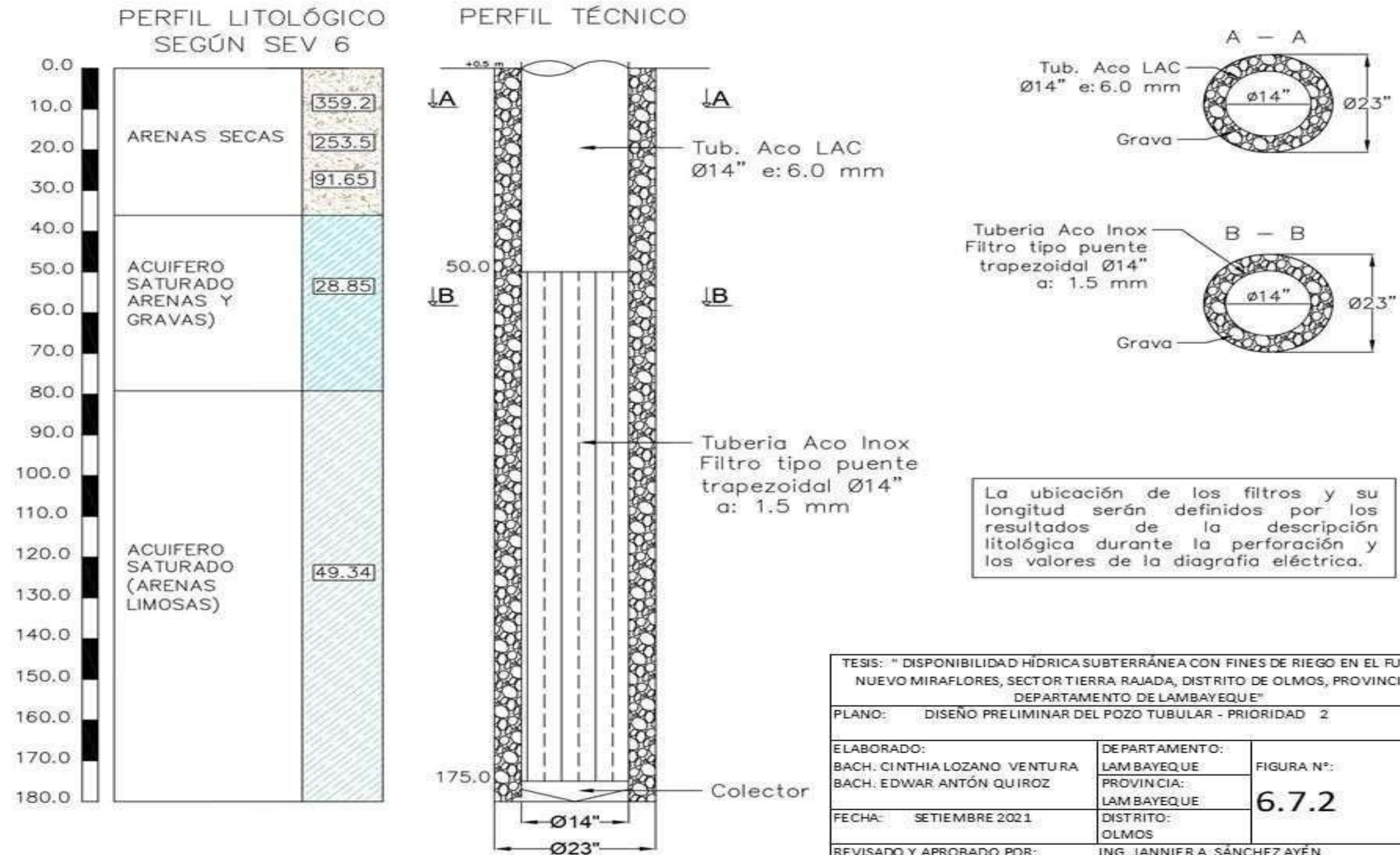




PRIORIDAD 2

## DISEÑO PRELIMINAR DEL POZO TUBULAR

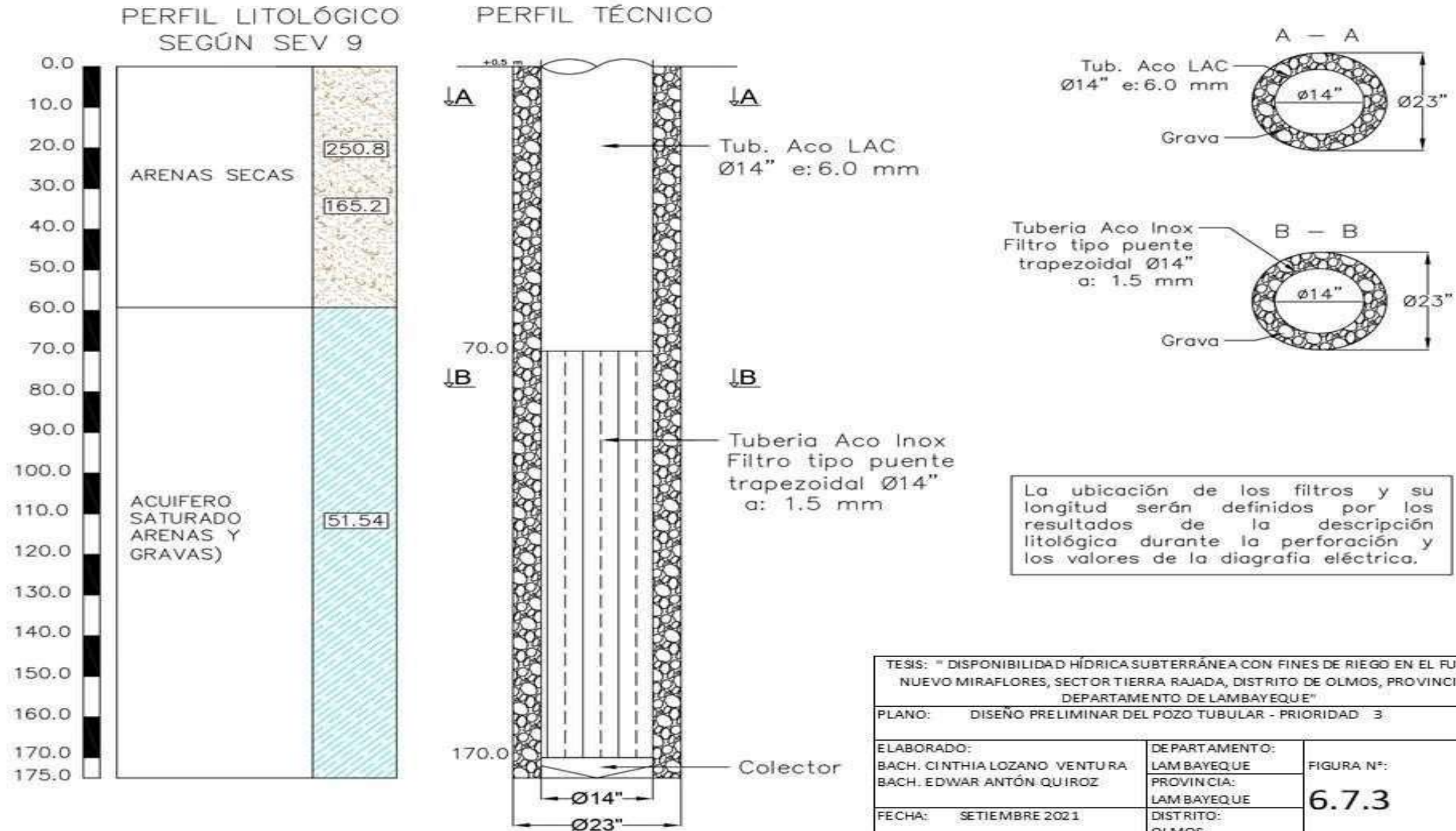
PRIORIDAD 2



PRIORIDAD 3

## DISEÑO PRELIMINAR DEL POZO TUBULAR

PRIORIDAD 3



TESIS: " DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON FINES DE RIEGO EN EL FUNDO NUEVO MIRAFLORES, SECTOR TIERRA RAJADA, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"		
PLANO: DISEÑO PRELIMINAR DEL POZO TUBULAR - PRIORIDAD 3		
ELABORADO:	DEPARTAMENTO:	FIGURA N°: <b>6.7.3</b>
BACH. CINTHIA LOZANO VENTURA	LAMBAYEQUE	
BACH. EDUAR ANTON QUIROZ	PROVINCIA:	
FECHA: SETIEMBRE 2021	LAMBAYEQUE	
REVISADO Y APROBADO POR:	DISTRITO:	
	OLMOS	
ING. JANNIER A. SANCHEZ AYEN		

## **D. PANEL FOTOGRAFICO**





**FOTO 1. ESTUDIO DE PROSPECCION GEOFISICA – SEV 1**



**FOTO 2. ESTUDIO DE PROSPECCION GEOFISICA –SEV 2**



**FOTO 3. PRUEBA DE BOMBEO DE POZO EXISTENTE**



**FOTO 4. POZO EXISNTE DEL CUAL SE HAN EXTRAIDO  
MUESTRAS DE AGUA**





**FOTO 5. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA PERFORACION DE POZOS**