

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DETERMINACIÓN DE ZONA ACUÍFERA USANDO LA
PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA PARA SU
APROVECHAMIENTO HÍDRICO SUBTERRÁNEO, A TRAVÉS
DE UN POZO TUBULAR EN EL DISTRITO DE SAMUEL PASTOR
- CAMANÁ - AREQUIPA**

PRESENTADA POR:

Bach. PERCY ELVIS HUISA HUARCAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**DETERMINACIÓN DE ZONA ACUÍFERA USANDO LA PROSPECCIÓN
GEOELÉCTRICA PARA SU APROVECHAMIENTO HÍDRICO
SUBTERRÁNEO, A TRAVÉS DE UN POZO TUBULAR EN EL DISTRITO DE
SAMUEL PASTOR - CAMANÁ - AREQUIPA.**

TESIS PRESENTADA POR:

PERCY ELVIS HUISA HUARCAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : _____
Dr. JOSÉ A. MAMANI GOMEZ

PRIMER MIEMBRO : _____
M.Sc. HECTOR A. HUAMAN GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO : _____
M.Sc. MIGUEL ANGEL FLORES BARRIGA

ASESOR : _____
Dr. ROBERTO ALFARO ALEJO

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de estudiar
protegerme cuidarme y sobre todo brindarme fuerza
en aquellos cinco años de formación universitaria.

A mi hermano(as) Javier Huisa Huarcaya, Silvia

Huisa Huarcaya, Sonia Huisa Huarcaya y

familia en general por su apoyo moral y material

en la culminación de mi carrera profesional.

Con inmenso cariño e infinito reconocimiento a mi
Madre Hilda, por su amor, ejemplo, comprensión
e invaluable apoyo en momentos difíciles en bien
de la conservación y anhelos de superación
profesional.

mis amigos y compañeros de la carrera, quienes

en los cinco años supieron brindarme amistad,

respeto cariño y apoyo.

<< El único conocimiento verdadero es saber que
no sabes nada >>

Percy Elvis

AGRADECIMIENTOS

De mi especial gratitud:

Expreso mi profundo y mi más sincero agradecimiento y gratitud a:

- A la Universidad Nacional del Altiplano, por ser la casa de estudios donde pasé los últimos 5 años.
- A mis compañeros de la carrera, quienes en los cinco años supieron brindarme amistad, respeto cariño y apoyo por su aliento y compañerismo de cada uno de ellos.
- A mis amigos, quienes siempre confiaron en mí y me brindaron apoyo incondicional, haciéndome sentir feliz y apoyándome moralmente en las decisiones que tome día a día.
- A mi hermano(as) Javier Huisa Huarcaya, Silvia Huisa Huarcaya, Sonia Huisa Huarcaya y familia en general por su apoyo moral y material en la culminación de mi carrera profesional.
- Al personal docente de la Facultad de Ing. Agrícola, en especial a mi director de investigación; Dr. Roberto Alfaro Alejo por concederme su apoyo y acertado asesoramiento.

Percy Elvis

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA 19

1.2.1 Problema general 19

1.2.2 Problemas específicos 19

1.3 HIPÓTESIS 19

1.3.1 Hipótesis general..... 19

1.3.2 Hipótesis específicas 19

1.4 JUSTIFICACIÓN 20

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION 21

1.5.1 Objetivo general..... 21

1.5.2	Objetivos específicos	21
-------	-----------------------------	----

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1.1	Antecedentes internacionales	22
2.1.2	Antecedentes nacionales	26
2.1.3	Antecedentes regionales.....	26
2.2	MARCO CONCEPTUAL	27
2.2.1	Hidrogeología	27
2.2.1.1	Formaciones hidrogeológicas	27
2.2.1.2	Tipos de acuíferos	28
2.2.1.2.1	Según los materiales constituyentes.....	28
2.2.1.2.2	Según el grado de presión a que está sometida.....	29
2.2.1.3	Los manantiales	30
2.2.1.4	Los ríos	30
2.2.2	Prospección geoelectrica.....	31
2.2.2.1	Prospección o exploración	31
2.2.2.2	Geoelectrica	31
2.2.2.3	Conductividad	33
2.2.2.4	Resistividad.....	33
2.2.2.5	Conductividad electrolítica	34
2.2.2.6	Resistividad de los materiales	36
2.2.3	Medición de la resistividad	39

2.2.3.1	Dispositivos Lineales	39
2.2.3.2	Configuración Schlumberger	39
2.2.3.3	Configuración Wenner	40
2.2.3.4	Dispositivos dipolares	41
2.2.4	Sondeos eléctricos verticales (SEV)	42
2.2.5	Sostenibilidad del agua subterránea	45

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1	AMBITO DE ESTUDIO	46
3.1.1	Ubicación política	46
3.1.2	Ubicación geográfica	47
3.1.3	Vías de comunicación y accesibilidad	47
3.1.4	Características geológicas y geomorfológicas	48
3.2	MATERIALES EQUIPOS E INSTRUMENTOS	48
3.2.1	Información elemental	48
3.2.1.1	Información e instrumentos	48
3.2.1.2	Software que se utilizaron.....	49
3.2.1.3	Materiales que se utilizaron	49
3.2.1.4	Equipos	50
3.2.1.5	Características del equipo de prospección	50
3.3	VARIABLES.....	52
3.3.1	Variable independiente	52

3.3.2	Variable dependiente	52
3.3.3	Indicadores.....	52
3.3.3.1	Indicadores directos	52
3.3.3.2	Indicadores indirectos	53
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	53
3.4.1	Población.....	53
3.4.2	Muestra	53
3.5	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.6	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	54
3.6.1	Técnicas e instrumentos	54
3.6.1.1	Fase de campo.....	54
3.6.1.2	Fase de gabinete.....	55
3.7	PROCEDIMIENTO PAR IDENTIFICAR LA ESTRATIGRAFÍA ASOCIADA A LA ZONA DEL ACUÍFERO MEDIANTE LOS INTERVALOS DE RESISTIVIDAD, PARA EL APROVECHAMIENTO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LOS SECTORES DE LA BOYA Y LOMAS GRANDES DE CAMANÁ.....	55
3.7.1	Distribución de lo Sondajes eléctricos verticales.....	56
3.7.2	Revisión de datos	57
3.8.1	Interpretación cuantitativa	58
3.8.2	Representación de Datas Procesadas	59
3.8.3	Recarga hídrica del acuífero	60

3.8.4	Inventario de agua subterránea	60
-------	--------------------------------------	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	IDENTIFICAR LA EXISTENCIA DE CAPA FREÁTICA Y ESTRATIGRAFÍA MEDIANTE LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA PARA SU APROVECHAMIENTO HÍDRICO SUBTERRÁNEO, A TRAVÉS DE UN POZO TUBULAR EN EL DISTRITO DE SAMUEL PASTOR - CAMANÁ - AREQUIPA	62
4.1.1	Fase de campo	62
4.1.2	Resultados de los Sondajes eléctricos verticales.	64
4.1.3	Fase de gabinete	67
4.1.4	Secciones geoelectricas.....	67
4.1.4.1	Interpretación de Sección Geoelectrica A - A' - Zona de La Boya.....	67
4.1.4.2	Interpretación de Sección Geoelectrica B- B' - Zona de La Boya	71
4.1.4.3	Interpretación de La columna geoelectrica puntual C- Zona Lomas Grandes de Camaná.....	75
4.1.4.4	Acuífero	78
4.1.4.5	Morfología del Acuífero	79
4.1.4.6	Napa Acuifera	79
4.2	MEDIANTE LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA PLANTEAR LA POSIBLE UBICACIÓN DE UN POZO PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA EL USO DE RIEGO TECNIFICADO EN EL SECTOR LOMAS GRANDES DE CAMANÁ,	

DENOMINADO CADILLAL I, II, AGROINDECA, SAMUEL PASTOR - CAMANÁ - AREQUIPA.	82
4.2.1 Secciones - cortes geo eléctricas.....	82
4.2.2 Resultados del cálculo de las reservas totales del acuífero.....	86
4.2.3 Modelo conceptual del acuífero.....	86
V. CONCLUSIONES.....	90
VI. RECOMENDACIONES.....	92
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS.....	99
Anexo 1. Imágenes de Curva Procesada SEV - 01.....	99
Anexo 2. Imágenes de Curva Procesada SEV - 02.....	100
Anexo 3. Imágenes de Curva Procesada SEV - 02.....	101
Anexo 4. Imágenes de Curva Procesada SEV – 04.....	102
Anexo 5. Imágenes de Curva Procesada SEV - 05.....	103
Anexo 6. Data del SEV – 01.....	104
Anexo 7. Data del SEV – 02.....	105
Anexo 8. Data del SEV – 03.....	106
Anexo 9. Data del SEV – 04.....	107
Anexo 10. Data del SEV – 05.....	108
Anexo 11. Sección Geoeléctrica B-B.....	109
Anexo 12. Sección Geoeléctrica B-B.....	110

Anexo 13. Columna Geoeléctrica C	111
Anexo 14. Plano de Ubicación	112
Anexo 15. Plano de sección geo eléctrica A - A.....	114
Anexo 16. Plano de sección geo eléctrica B - B	115
Anexo 17. Plano de Columna geoeléctrica C	116
Anexo 18. Fotografía de ubicación de pozo de agua (inventario de Notas de agua)	122
Anexo 19. Fotografía de ubicación del SEV-02, en el sector La Boya	123
Anexo 20. Fotografía de ubicación del SEV-02, en el sector las lomas.....	123

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: prospección geoeléctrica para su aprovechamiento hídrico subterráneo, a través de un pozo tubular

Línea: Recursos hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10 de enero de 2023

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Influencia de ciertos procesos geológicos sobre la resistividad de las formaciones.....	34
Tabla 2. Valores de resistividad de tipos de agua y roca	35
Tabla 3. Valores típicos de resistividad para interpretación geotécnica	35
Tabla 4. Resistividad del agua de acuerdo al ámbito en el que se encuentre	37
Tabla 5. Tipos de SEV	42
Tabla 6. Vías de Comunicación	47
Tabla 7. Características del equipo de prospección - georesistivímetro (GRM) modelo G-1010.....	50
Tabla 8. Tabla de coordenadas de los Sondeos Eléctricos Verticales	62
Tabla 9. Resultados de los SEV-01.....	64
Tabla 10. Resultados de los SEV-02.....	65
Tabla 11. Resultados de los SEV-03.....	65
Tabla 12. Resultados de los SEV-04.....	66
Tabla 13. Resultados de los SEV-05.....	66
Tabla 14. Resultado de la interpretación cuantitativa de los SEVs	80
Tabla 15. Sección geo eléctrica A-A.	82
Tabla 16. Sección geo eléctrica B-B.....	83
Tabla 17. Columna geoelectrica Puntual C.....	84
Tabla 18. proyección del Posible pozo tubular	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Acuífero	30
Figura 2. métodos geoelectricos para prospección hidrogeológicos	32
Figura 3. Ley de Ohm, flujo de la corriente eléctrica	32
Figura 4. Muestra de un material resistivo de sección transversal A y de longitud L	37
Figura 5. Rangos de resistividad para algunos minerales	38
Figura 6. Dispositivo Schlumberger	39
Figura 7. Dispositivo Wenner	40
Figura 8. Dispositivos dipolares	41
Figura 9. Esquema del sondeo eléctrico vertical.	42
Figura 10. Variación de la misma en función de AB/2 en relación logarítmica	44
Figura 11. Ubicación de la zona en estudio	46
Figura 12. Telurómetro digital “AEMC – 6471”.	51
Figura 13. Equipo instrumental georesistivimetro (GRM) modelo G-1010	51
Figura 14. Ubicación pozo en Camaná	60
Figura 15. Ubicación de Sondeos y Sección Geoeléctrica A - A	68
Figura 16. Sección geoeléctrica A - A	68
Figura 17. Ubicación de Sondeos y Sección geoeléctrica B – B	72
Figura 18. Sección geoeléctrica B - B	73
Figura 19. Ubicación de Sondeos y columna geoeléctrica puntual C	75
Figura 20. Columna Geoeléctrica puntual C	76
Figura 21. pozo tubular proyectado	85
Figura 22. pozo tubular proyectado	87

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SEV:	Sondaje Eléctrico Vertical.
CE:	Conductividad eléctrica.
H:	Horizontes de evaluación
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
MINAM	Ministerio del Ambiente.
ECA	Estándares de calidad ambiental.
OMS	Organización Mundial de la Salud.

RESUMEN

En los sectores de La Boya y Lomas Grandes del distrito de Samuel Pastor - Camaná; se puede observar que se caracteriza por su casi nula precipitación teniendo áreas potenciales para riego las cuales son zonas áridas y no aprovechadas. El objetivo principal es determinar la estratigrafía asociada a la zona acuífera usando la prospección geoelectrica para su aprovechamiento hídrico subterráneo y proyectar la posible ubicación de un pozo tubular. Se realizaron un total de cinco (05) sondeos eléctricos verticales (SEV). Con interpretaciones cuantitativas y cualitativas de los datos de resistividad se determinó los horizontes de la estratigrafía asociada a la zona acuífera, combinados con los registros litográficos existentes con los cuales se correlacionaron a las secciones geoelectricas y se proyectó la posible ubicación de un pozo tubular. Con los datos resistividades se puede argumentar que se puede encontrar agua subterránea mediante los SEV-1, SEV-2, SEV-3 y SEV-4 corresponden al sector La Boya donde se determina los horizontes H-1, H-2, H-3, H-4, y H-5 encontrándose la zona acuífera entre los Horizontes H-2 y H-5 aproximadamente a 2.4 m de profundidad hasta los 41 m con 547ohm y 9.9ohm las cuales tienen alta resistividad y por último en el SEV-5 correspondiente al sector Lomas Grandes y de acuerdo a los horizontes H2 y H3 son de baja resistividad 7ohm-m y 2 ohm-m, lo que significa que no hay infiltración no teniendo conexión con horizontes inferiores. Por lo que se proyectó la ubicación del pozo tubular en el SEV-2.

Palabras Claves: Acuífero, prospección geo eléctrico, pozo tubular, resistividad, sondeo eléctrico vertical.

ABSTRACT

In the sectors of the buoy and large hills of the district of Samuel Pastor - Camaná; It can be observed that it is characterized by its almost null precipitation, having potential areas for irrigation which are arid and unused areas. The main objective is to determine the stratigraphy associated with the aquifer zone using geoelectric prospecting for its underground water use and project the possible location of a tube well. A total of five (05) vertical electrical surveys (SEV) were carried out. With quantitative and qualitative interpretations of the resistivity data, the horizons of the stratigraphy associated with the aquifer zone were determined, combined with the existing lithographic records with which they were correlated to the geoelectric sections and the possible location of a tube well was projected. With the resistivity data, it can be argued that groundwater can be found through the SEV-1, SEV-2, SEV-3 and SEV-4 correspond to the buoy sector where the horizons H-1, H-2, H- 3, H-4, and H-5, finding the aquifer zone between Horizons H-2 and H-5 at approximately 2.4 m depth up to 41 m with 547ohm and 9.9ohm which have high resistivity and finally in the SEV -5 corresponding to the lomas grandes sector and according to the H2 and H3 horizons are of low resistivity 7ohm-m and 2 ohm-m, which means that there is no infiltration and there is no connection with lower horizons. Therefore, the location of the tube well was projected in the sev-2.

Keywords: Aquifer, geoelectric sounding, tube well, resistivity, vertical electrical sounding.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se considera que el agua es un bien necesario para la supervivencia humana; en este caso para la agricultura, que está ligado a la seguridad alimenticia según Jat et al., (2016), los recursos hídricos que ya son escasos pueden verse sometidos a un mayor estrés. Por lo tanto, es probable que el impacto del cambio climático tenga una influencia significativa en la agricultura y, finalmente, en la seguridad alimenticia y los modos de subsistir de enormes sectores de población urbana y rural a nivel mundial. El agua subterránea, sin duda, ha ganado un mayor reconocimiento en las partes en desarrollo del mundo de hoy.

La gestión del agua subterránea y la evaluación de acuíferos se basan en el conocimiento razonable de sus características hidrogeológicas, es decir, transmisividad (T), conductividad hidráulica (K), Almacenamiento (S) y almacenamiento específico (Ss) (Fetter, 2001). Las formas clásicas de estimar estos parámetros son a través de pruebas de bombeo, slug tests, mediciones de permeámetro y análisis de tamaño de grano (Fetter 2001). Sin embargo, estas pruebas pueden ser costosas, llevar mucho tiempo y depender de la existencia de perforaciones y puntos de muestreo distribuidos convenientemente en un área de estudio (Gómez, 2019). Del mismo modo, los valores de los parámetros hidrogeológicos pueden variar en distancias relativamente cortas en acuíferos heterogéneos, lo que hace que los resultados de los métodos convencionales sean válidos solo para pequeños sectores de un acuífero. La correlación entre resistividad y propiedades hidrogeológicas en acuíferos porosos se puede utilizar para obtener

estimaciones rentables de parámetros como K y T a partir de mediciones geoeléctricas de superficie (Tizro et al. 2010).

En el sector de lomas grandes del distrito de Samuel Pastor - Camaná; se puede observar que se caracteriza por su casi nula precipitación teniendo áreas potenciales para riego las cuales son zonas áridas y no aprovechadas. Por lo cual se puede indicar que existe escasez del recurso hídrico para riego, hay poca agua superficial ya que estas aguas vienen de las partes altas de Arequipa el cual solo se presenta cuando hay precipitación pluvial en las alturas.

Con el presente trabajo de investigación se hará con el fin de aprovechar el recurso hídrico subterráneo, Determinar la existencia del agua subterránea, profundidad y horizontes de la estratigrafía asociada a la zona acuífera mediante la prospección geoelectrica, así como de sus características físicas es de relevante importancia para ver las posibilidades que el medio de la aplicación de métodos de prospección geoelectrica, para abastecer agua para el riego tecnificado en el sector Lomas Grandes de Camaná, denominado Cadillal I, II, Agroindecá, Samuel Pastor - Camaná - Arequipa. y establecer puntos de aprovechamiento hídrico (pozo tubular) para poder bombear el agua y así poder producir productos en áreas desérticas en este caso el sector Lomas Grandes - Cadillal del distrito de Samuel Pastor y usar netamente riego tecnificado para ampliar la frontera agrícola optimizando el recurso hídrico para la producción de paltas y zapallos, generando nuevos puestos de empleo.

Los Sondajes Eléctricos Verticales comparados con métodos como la perforación de pozos en términos de costo es bajo.

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo se puede determinar la zona acuífera para aprovechamiento hídrico subterráneo, a través de un pozo tubular en los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera se puede identificar la estratigrafía asociada a la zona del acuífero para aprovechamiento hídrico subterráneo en los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná?
- ¿Es posible proyectar la ubicación de un pozo tubular para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, en los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná?

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

- Se puede determinar la zona acuífera usando la prospección geoelectrica para su aprovechamiento hídrico subterráneo, a través de un pozo tubular en los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná.

1.3.2 Hipótesis específicas

- Se puede identificar la estratigrafía asociada a la zona del acuífero mediante los intervalos de resistividad, para el aprovechamiento hídrico subterráneo en los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná.

- La ubicación del pozo proyectado para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo es factible según los horizontes encontrados en la estratigrafía asociada a la zona del acuífero, para el uso de riego tecnificado en los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Debido a los problemas que se ha visto la escasez hídrica que impide la productividad agrícola en la zona de la costa peruana, es necesario estudiar las aguas subterráneas, así como también el perfil estratigráfico para uso agrícola en beneficio del desarrollo de la población los sectores de La Boya y lomas grandes del distrito de Samuel Pastor – Camaná. Para disponer de la Nota de agua y repotenciar la actividad agrícola.

Debido al problema encontrado, el presente trabajo de investigación se hará con el fin de aprovechar el recurso hídrico subterráneo, identificando la estratigrafía asociada a la zona de un acuífero por medio de la prospección geo eléctrica y plantear la posible ubicación de un pozo para el aprovechamiento hidrico, así como de sus características físicas de relevante importancia para ver las posibilidades a través de la aplicación de métodos de prospección geo eléctrica, para abastecer agua para el riego tecnificado utilizando el recurso hídrico subterráneo para irrigar la zona desértica y árida de la parte del sector lomas; área que no se usa actualmente .

Con el presente trabajo de investigación se contribuirá a la mejora en la calidad de vivir de población del distrito de Samuel Pastor - Camaná, ampliando la frontera agrícola generando empleo y mejorando la economía local.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.5.1 Objetivo general

- Determinar la zona acuífera usando la prospección geoelectrica para su aprovechamiento hídrico subterráneo, a través de un pozo tubular en el en el sector Lomas Grandes de Camaná.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar la estratigrafía asociada a la zona del acuífero mediante los intervalos de resistividad, para el aprovechamiento hídrico subterráneo en los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná.
- Proyectar la posible ubicación de un pozo según los horizontes encontrados en la estratigrafía asociada a la zona del acuífero para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo para el uso de riego tecnificado los sectores de La Boya y Lomas Grandes de Camaná.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes internacionales

Si bien el empleo importante del sondeo eléctrico vertical (SEV) es la caracterización de acuíferos, también se ha utilizado para hallar plumas de lixiviados contaminantes de rellenos sanitarios (Tamuno & Inichinbia, 2020), investigación de suelo como material de cimentación de edificaciones (Bukola, 2017), y otras infraestructuras como carreteras (Mebrahtu, 2021).

Babaiwa et al (2020), utilizó el método de arreglo de Schlumberger para realizar un total de ocho (8) sondeos eléctricos verticales (SEV) con una extensión de 350 m a estudiar. Se empleo el Terrámetro Pasi 16-GL para adquirir los datos. Los datos obtenidos se analizaron con el software Winresist 1.0 para obtener las curvas de mejor ajuste a los modelos teóricos. El programa de modelado convirtió la resistividad aparente en valores de resistividad verdaderos en las curvas del modelo 1-D. Se delinearon cinco (5) a siete (7) capas que corresponden a la capa superior del suelo, arcilla arenosa, arena arcillosa, arena, arenisca seca y arenisca saturada. La profundidad del acuífero varía de 95.0 a 169.6 m con rangos de resistividad que van desde 324.3 a 1524.7 ohm-m.

Según Rahajoeningroem e Indrajana (2020) Realizó un estudio mediante técnica geoelectrica con SEC (Schlumberger Electrode Configuration) para conocer el potencial Subterráneo. El resultado reveló una capa de cobertura de turba y suelo

con rangos de resistividad de 60,42 y 245,84 ohm-m. La segunda capa tenía un valor de resistividad relativamente alto y tenía la forma de una capa de turba. 116,78 a 212,58 ohm-m era el rango de resistividad. La arcilla era la porción principal en la tercera capa, esta capa tenía un valor de resistividad relativamente bajo entre 11,31 y 26,53 ohm-m, mientras que la cuarta capa estaba compuesta de arena, el valor de resistividad estaba entre 41,99 y 59,50 ohm-m, lo que indica una capa acuífera porque tenía característica de alto paso de agua. Se concluyó que la técnica geoelectrica con configuración de electrodos de Schlumberger se puede utilizar de manera efectiva en actividades de perforación de aguas subterráneas.

La característica principal de dicho estudio fue el mapeo hidrológico y geológico del subsuelo para detectar la aparición de agua subterránea en el área con (SEV) por medio de la técnica de arreglo de electrodos de Schlumberger (SEA) que oscila entre 02 y 300 m. Los resultados sugirieron que había buenas zonas de acuíferos en los lechos de arenisca fracturada de 50 a 100 m de espesor y la interconexión que contenía la piedra caliza con la arcilla. La acumulación de agua subterránea se identificó esquematizando las estructuras geológicas y fisiográficas del área de estudio (Soomro et al., 2019).

Adagunodo et al. (2018) Llevó a cabo una exploración de aguas subterráneas en una ciudad de Nigeria para encontrar acuíferos de alto rendimiento mediante el uso de una matriz de electrodos de Schlumberger. Los resultados indicaron que las regiones suroeste (SEV 13 y 14) y este (SEV 1, 2, 8, 10 y 11) estaban vinculadas con un alto rendimiento de agua subterránea. En estos ejes se podrían perforar pozos con una profundidad promedio igual a 22 m. El potencial de aguas subterráneas de las partes sur (SEV 12), central (SEV 9) y norte (SEV 5) presentó un potencial medio.

La profundidad de la perforación del pozo podría mejorarse a una profundidad de 30 m, con un rendimiento de agua subterránea en un rango medio. sin embargo, las zonas occidentales (SEV 6, 7, 15 y 16) y nororiental (SEV 3 y SEV 4) se caracterizaron por un bajo potencial de agua subterránea. La caracterización del acuífero se puede realizar correctamente utilizando sondeos de resistividad.

Villao (2018), La aplicación del método geoelectrico (SEV sondeo eléctrico vertical) se utilizó para realizar el estudio en el cantón Manta, provincia de Manabí, Ecuador, para medir los espesores aluviales. En el SEV se determinó la característica aluvial con formación Tosagua a partir de la aparición de una manto resistiva en escalas de 80 y 90 Ohm - m y la identificación del aluvial Tosagua.

Según Talabi et al. (2016) Este estudio trata sobre la prospección de resistividad eléctrica de las aguas subterráneas del area con el proposito de ubicar un punto adecuado para la colocación de un pozo mediante el uso de arreglos de Schlumberger con una velocidad máxima de 150 m. Los datos inferidos ilustran cinco unidades litológicas del subsuelo diferentes, como arcilla laterítica, capa superficial del suelo/arenosa, basamento erosionado, basamento fresco y basamento fracturado. La capa superior del suelo/arena (resistividad media (ρ) de 371 Ohm-m) era delgada en la mayoría de los puntos de sondeo con un espesor de entre 0,4 y 3 m. Las capas lateríticas tienen resistividades que oscilaron entre 19 y 3918 Ohm-m con un valor de espesor de 1 a 14 m, mientras que el sótano erosionado y el sótano fracturado se caracterizaron por clases de resistividad que oscilaron de entre 25 y 2030 Ohm-m y 42 y 1202 Ohm-m, respectivamente. Las profundidades oscilaron entre 3 my 134 m en el sótano erosionado, mientras que algunos sótanos fracturados con otros indeterminables oscilaron entre 10 y 65 m. El basamento fresco que se

encuentra en algunos de los puntos de sondeo representa el lecho rocoso y la quinta capa. Las curvas geoelectricas en el área son complejas con HAK y KHK dominantes. Los tipos de curvas significaron la ocurrencia de fracturas en los lechos rocosos del área a estudiar. En base de la interacción de las combinaciones de materiales de sobrecarga con el basamento fracturado, SEV 3 con una resistividad de la capa fracturada de 593 Ohm-m y una profundidad indeterminada se consideró más adecuada para perforar pozos en el área de estudio.

Varios autores como Keleko et al, (2013), y Pure, (2019), Anomohanran, (2015), De Almeida et al. (2021), utilizaron la técnica SEV para encontrar perfiles estratigráficos con fines de aprovechamiento de agua, corroboradas mediante otras técnicas geofísicas y pruebas de bombeo. Así como Gomez et al (2019) complementó los sondeos geo eléctricos con las técnicas de tomografía de resistividad geoelectrica y sondeos electromagnéticos transitorios en el Altiplano de Bolivia.

Iserhien (2014), realizo la investigación: “sondaje de resistividad eléctrica para predecir acuíferos en Onicha-Ugbo, estado de Delta, Nigeria”, el estudio tuvo el proposito de delinear la secuencia geológica del subsuelo presente en la zona de estudio, determinar sus parámetros geoelectricos (espesores de capa y resistividades) y delinear las características estructurales y geomorfológicos presentes debajo del subsuelo. Los resultados adviertem que el subsuelo se compone de 5 a 6 capas y que el contenido de arcilla y limo varía vertical y horizontalmente, lo que influye en la aparente resistividad del área. La sección geoelectrica desarrollada muestra que las unidades subsuperficiales son predominantemente arenosas subyacentes a la capa freática desde los sitios es superior a 150 m y sugiere que la explotación de aguas subterráneas es alentadora.

Jiménez (2008), realizó el estudio, "Elaboración de un plan de explotación de aguas subterráneas en una región de Pennsula de Santa Elena, a través de la interpretación de métodos resistivos", llegó a la conclusión de que se desarrollaron modeladores de resistividad en el área de estudio, lo que logro la identificación de los mejores lugares para la construcción de nuevos pozos y la identificación gráfica de las zonas potencialmente acuíferas de acuerdo con los valores de resistividad. Tambien, se elaboró un plan de aprovechamiento adecuado del recurso.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Silva (2019), Los resultados del estudio hidrogeológico para aprovechar las aguas subterráneas en la propiedad de Inkaterra- departamento de Piura - Perú - mostraron que la profundidad mínima del pozo se ha establecido primariamente en 55.00 m (SEV 3), la cual puede ser modificada dependiendo de las propiedades del material descubierto en medio de la perforación y los hallazgos de la digrafía.

Ramírez (2017), "Evaluación por métodos no convencionales de la caracterización de suelos del Distrito de Morales, provincia de San Martín - Región San Martín" fue el título del estudio que realizó. Se afirma que este trabajo ha demostrado que la calidad geomecánica del material para diversos intenciones de ingeniería puede conectarse a través de la prospección geoeléctrica y el registro de la resistividad real.

2.1.3 Antecedentes regionales

Pari (2019), realizó el estudio "Aplicación de la Resistividad para la Exploración de Aguas Subterráneas en la Microcuenca Yanamayo - Azángaro", cuya profundidad se investigó hasta 250 metros; se realizaron 19 SEV; de los cuales las

mejores resistividades para inferir la presencia de agua subterránea se encuentran en el SEV-2 con capa saturada de 11 metros de espesor y resistividad en 12 ohm-m, SEV-3 con estrato saturado de 25 metros de espesor y resistividad de 9 ohm

Churata (2022), en su tesis titulada “Estudio geofísico para la exploración de aguas subterráneas mediante sondeos eléctricos verticales en el C.P. de Marcuyo y la Comunidad Campesina Chojñachojñani, Distrito de Pilcuyo, Provincia de El Collao, Región Puno” Señala en el C.P. de Marcuyo y la C.C. Chojñachojñani en el año 2019. Se distinguen 3 estratos definidos E_0 , E_1 y E_2 con las siguientes características: El estrato E_0 que corresponde a suelos superficiales de sedimentos limo arcillosos con arenas finas. El estrato E_1 que indica la ocurrencia de sedimentos de capas de arena gruesa y grava. El estrato E_2 vendría a conformar el nivel de fondo compuesto de sedimentos estratificados de limos y arcillas con intercalación de capas de arena gruesa.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Hidrogeología

2.2.1.1 Formaciones hidrogeológicas

Las estructuras geológicas denominadas acuíferos contienen agua subterránea. El agua puede almacenarse en acuíferos. Por ejemplo, aunque las formaciones arcillosas pueden almacenar mucha agua, no se denominan acuíferos porque es difícil trasvasar el agua a través de ellas (Sethi & Di Molfetta, 2019).

Un acuífero actúa como un embalse, lo que requiere la consideración de una entrada, una salida y una capacidad de almacenamiento y gestión (Notas, 2002)

Cualquier capa geológica capaz de almacenar y transferir agua se denomina formación acuífera. Así pues, el agua debe entrar en contacto con una formación acuífera para que se descubra en un pozo. Estas estructuras sólo permiten que el agua fluya a través de grietas o canales que se han excavado en ellas (Bellido, 2004)

La mayor parte de los acuíferos están formados por rocas y formaciones de tipo sedimentario porque son las más permeables y filtrables. Así, "la capa superior de agua subterránea" sería la definición de acuífero (Bellido, 2004).

2.2.1.2 Tipos de acuíferos

2.2.1.2.1 Según los materiales constituyentes

a) Acuíferos porosos

Están contruidos con materiales ad hoc, no reforzados (gravas y arenas, generalmente). Los poros o huecos dejados por las partículas sólidas son fácilmente atravesados por el agua (Notas, 1992).

b) Acuíferos fisurados

Están compuestos por rocas cementadas y el agua fluye a través de las fisuras y fracturas que se han producido en ellos (Notas, 1992).

c) Acuíferos porosos y fisurados

En el caso de las areniscas, se combinan elementos sueltos (arena) y un cemento (a menudo calcáreo o silíceo) para producir la estructura (Notas, 1992).

2.2.1.2.2 Según el grado de presión a que está sometida

a) Acuíferos libres, no confinados o freáticos

Al no existir una capa de tierra restrictiva por encima del agua, la superficie del agua se presenta en una presión atmosférica (Notas, 1992).

El agua se libera mediante poros del acuífero cuando se excava el pozo porque el nivel piezométrico está al mismo nivel que el nivel de agua del acuífero y la desaturación hace que se libere agua (Ordoñez, 2011).

b) Acuíferos confinados a presión

Debido a que una capa de suelo impermeable limita la parte superior del acuífero, el agua está sometida a presiones superiores a las de la atmósfera (Ordoñez, 2011).

El agua asciende en el pozo tras su perforación hasta elevarse al nivel de agua iguala la presión de la piedra circundante (Notas, 1992).

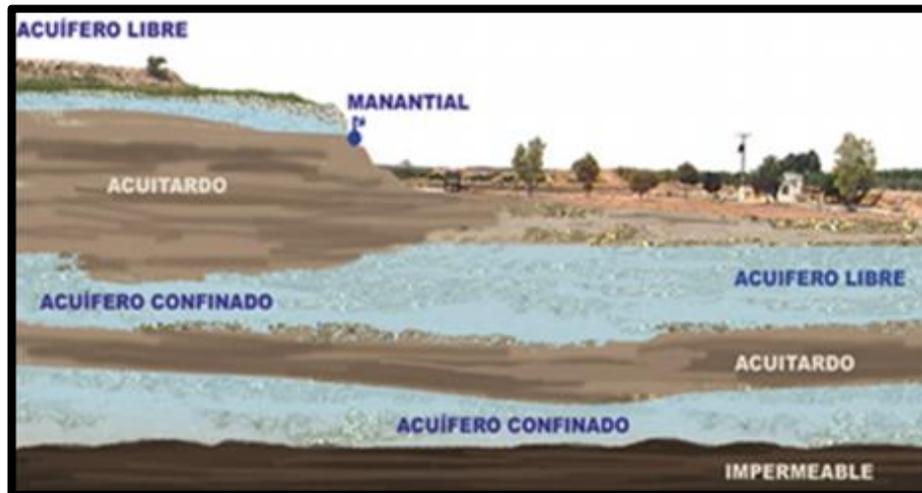
Además, reciben el nombre de acuíferos cautivos (Ordoñez, 2011).

c) Acuíferos semicautivos - semiconfinados

Pueden considerarse como un tipo específico de acuífero cautivo en el que la pared, el techo o ambos permiten la circulación vertical del agua a pesar de no ser completamente impermeables (Ordoñez, 2011).

Figura 1.

Tipos de Acuífero



Nota. El grafico nos muestra los tipos de acuífero, como manantial, acuífero confinado, acuífero libre, acuitardo y zona impermeable

Adaptado de www.marm.es/sia/visualizacion/lda/fisico/hidrogeologia_acuiferos.jsp).

2.2.1.3 Los manantiales

Se denomina manantiales al agua de lluvia que emergen de las zonas altoandinas montañosas, la misma que se escurre sobre el suelo y se producen almacenamiento, con los cuales se forman los ojos de agua, de los cuales hay orificios. las aguas de los manantiales también pueden provenir de un acuífero subterráneo.

un manantial es también un lugar con afloramiento natural de aguas subterráneas (Collazo y Montaña, 2012).

2.2.1.4 Los ríos

Se describe como un conjunto de cursos de agua naturales o canales utilizados para drenar el agua de una cuenca.

El río sirve como componente de drenaje de la cuenca. Pero un río también transporta elementos sólidos resultantes de la erosión, además de agua. Los ríos suelen tener un fondo movable (Barrocu & Eslamian, 2022).

2.2.2 Prospección geoelectrica

2.2.2.1 Prospección o exploración

La localización de yacimientos de aguas subterráneas con propiedades a priori adecuadas para la posterior explotación o utilización del recurso se denomina prospección o exploración (Auge, 2008).

2.2.2.2 Geoelectrica

Según Auge (2008), nos indica el comportamiento rocoso y sedimentos relacionado a la corriente eléctrica es el foco del campo geofísico de la geoelectrica

Según Fetter (2001), Los SEV y las calicatas ecléticas CE son dos de los métodos geoelectricos más utilizados en hidrogeología, según Fetter (2001). La polarización inducida (PI) y potencial espontáneo (PE), que se basan en la detección de campos eléctricos, son menos eficaces.

La prospección o exploración geofísica, según la define Manilla (2003), es la práctica de utilizar las ciencias físicas para estudiar la composición y estructura de las diferentes capas de la tierra. Se centra en el empleo de principios geofísicos para el estudio de recursos freaticos o para otros fines.

Lo mismo opinan Custodio & Llamas (2001), que escriben que "La prospección geofísica es una rama reciente de la geofísica aplicada y la

definimos como la ciencia y técnica que, basándose en fenómenos físicos, naturales o provocados, trata de conocer la distribución de los materiales en el subsuelo y sus propiedades."

Figura 2.

métodos geoeléctricos para prospección hidrogeológica

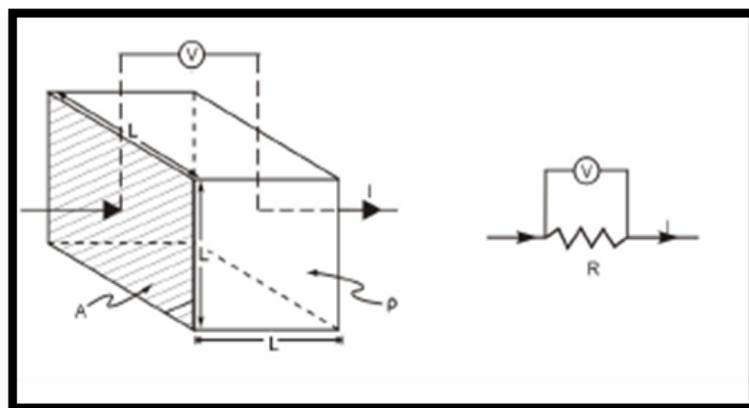


Nota. En el gráfico se representa los métodos geoeléctricos para prospección hidrogeológicos, adaptado de Auge (2008).

De acuerdo con Auge (2008), Para comprender cómo fluye una corriente eléctrica a través de rocas o sedimentos, considere la caída de potencial V entre dos sitios a través de los cuales una corriente eléctrica de corriente I es proporcional a la corriente y a la resistencia R que ofrece el medio al paso del agua.

Figura 3.

Ley de Ohm, flujo de la corriente eléctrica



Nota. Se puede ver la Ley de Ohm, flujo de la corriente eléctrica, adaptado de Auge (2008).

2.2.2.3 Conductividad

Se puede decir que la conductividad es la capacidad de la corriente eléctrica al traspasar la materia. Así mismo se es lo contrario a la resistividad.

La unidad de medida de la conductividad en el (S)

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

Por lo tanto, se puede decir que toda materia es eléctricamente conductora ya sea en menor o mayor incidencia. Los mismos que pueden ser electrones o iones con lo cual se puede saber el tipo de conductividad.

2.2.2.4 Resistividad

Se puede definir como el obstáculo, impedimento que encuentra en este caso la corriente en su paso por un cuerpo receptor.

Así mismo la resistividad es lo contrario a la conductividad

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2)$$

Donde:

R = resistencia eléctrica

L = longitud de porción de material (m)

ρ = resistividad

S= sección homogénea

2.2.2.5 Conductividad electrolítica

Dado que la gran mayoría de los minerales que constituyen las rocas son aislantes, incluidos los silicatos y los carbonatos, las rocas que carecen de minerales dependen más de la conductividad y la porosidad de los fluidos presentes en estos cuerpos que de los propios minerales.

En la tabla 1 se exhibe la correlación entre los procesos y la autoridad de los efectos sobre la resistividad. Cuando los cationes son atraídos por las partículas de arcilla, algunos de ellos se aglutinan a los iones utilizables para lograr la conductividad electrolítica.

Tabla 1.

Influencia de ciertos procesos geológicos sobre la resistividad de las formaciones

DESCRIPCION	RESISTIVIDAD (ohm-m)
Alteración argílica	↓
Disoluciones	↓
Fracturaciones	↓
Intrusión de aguas salinas	↓
Cizallamiento	↓
Alteración superficial	↓
Compactación	↑
Precipitación de carbonatos	↑
Silificación	↑
Metamorfismo	↑
ρ : aumenta	↑
ρ : disminuye	↓
Puede variar en ambos sentidos	↕

Nota. En la tabla se muestra de que manera influyen positivamente o negativamente, los procesos geológicos sobre la resistividad de las formaciones, adaptado de Geoartemis (2021).

La resistividad de los tipos de materiales, formación geomorfológica puede cambiar en base a los factores descritos en la presente tabla 2.

Tabla 2.

Valores de resistividad de tipos de agua y roca

TIPO DE AGUA Y ROCA	RESISTIVIDAD (ohm-m)
Agua de mar	0 – 20
Agua de acuíferos aluviales	10 – 30
Agua de Notas	50 – 100
Arenas y gravas secas	1000 – 1000
Arenas, 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	50 – 300
Lavas	300 – 10000
Esquisto grafitosos	0.5 – 5.0
Asquistos arcillosos o alterados	100 – 300
Esquistos sanos	300 – 3000
Gneis, granito alterado	100 – 1000
Gneis, granitos sanos	1000 - 10000

Nota. En la tabla se puede observar la resistividad para interpretación geotécnica en base al tipo de agua y roca, adaptado de ANA (2018).

Tabla 3.

Valores típicos de resistividad para interpretación geotécnica

TIPO DE AGUA Y ROCA	RESISTIVIDAD (ohm-m)
----------------------------	---------------------------------

Basamento, roca sana con diaclasas espaciadas	> 10000
Basamento, roca fracturada	1500 – 5000
Basamento roca fracturada saturada con agua corriente	100 – 2000
Basamento, roca fracturada saturada con agua salada	1 – 100
Gruss no saturado	500 – 1000
Gruss saturado	40 – 60
Saprolito no saturado	200 – 500
Saprolito saturado	40 – 100
Gravas no saturadas	500 – 2000
Gravas saturadas	300 – 500
Arenas no saturadas	400 – 700
Arenas saturadas	100 – 200
Limos no saturados	100 – 200
Limos saturados	20 – 100
Limos saturados con agua salada	5 – 15
Arcillas no saturadas	20 – 40
Arcillas saturadas	5 – 20
Arcillas saturadas con agua salada	1 – 10
Andosoles secos	1000 – 2500
Andosoles no saturados	300 - 1000
Andosoles saturados	30 - 50

Nota. En la tabla se muestra los valores típicos de resistividad para cada tipo de roca y agua, adaptado de Universidad nacional (2000).

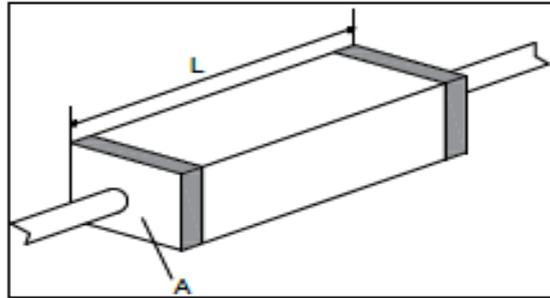
2.2.2.6 Resistividad de los materiales

Según Reynold (1997) afirma que todos los materiales obstruyen en cierta medida el flujo de la corriente eléctrica. Esta acción obstructiva se conoce como resistencia eléctrica; los materiales que son adecuados conductores de electricidad presentan una resistencia eléctrica extremadamente mínima, mientras que los aislantes presentan una resistencia eléctrica muy elevada. El nivel de dificultad que presentan los electrones para moverse es lo que

entendemos por resistividad. Su símbolo es la letra griega rho y su unidad de medida es el ohmímetro.

Figura 4.

Muestra de un material resistivo de sección transversal A y de longitud L



Nota. Muestra de un material resistivo de sección transversal A y de longitud L, adaptado de Peled (1979).

Basándose en la información de varios autores, a continuación se ofrece una lista de los rangos de resistividad de las aguas:

Tabla 4.

Resistividad del agua de acuerdo al ámbito en el que se encuentre

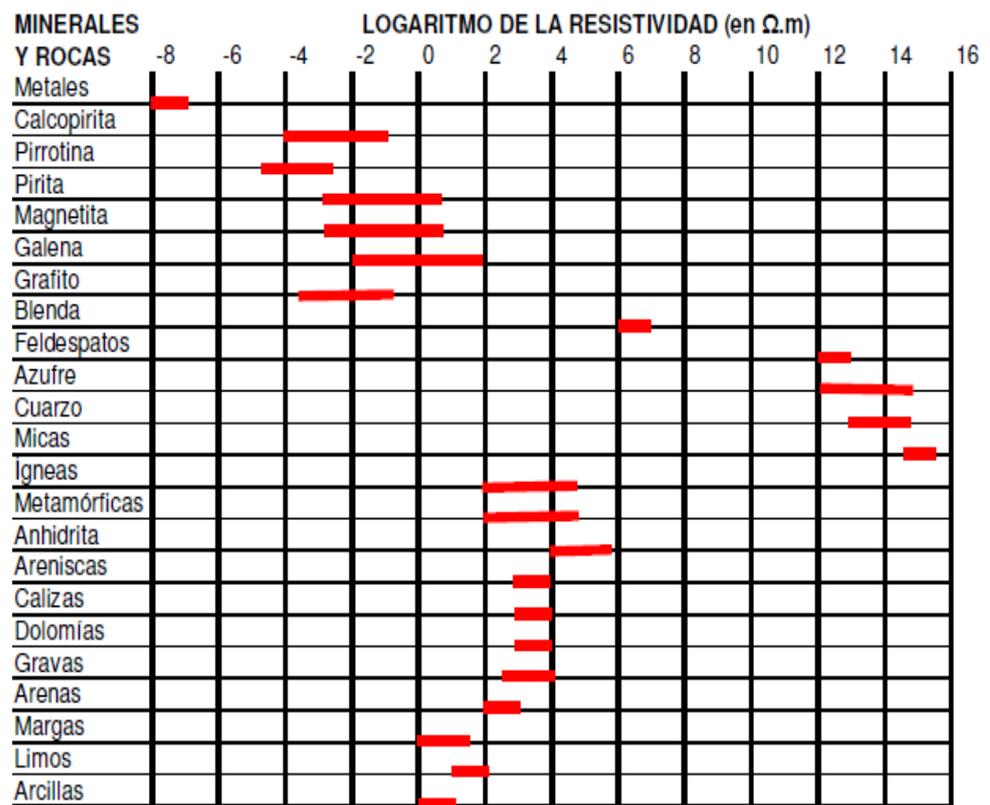
TIPO DE AGUA	RESISTIVIDAD (ohm-m)
Agua de lagos y arroyos de alta montaña	10^3 a $3 \cdot 10^3$
Aguas dulces superficiales	10 a 10^2
Aguas salobres superficiales	2 a 10
Aguas subterráneas	1 a 20
Aguas marinas	0.2
Agua de los lagos salados	0.1 a 1
Aguas de impregnación en rocas	0.3 a 10

Nota. En la tabla se muestra los valores típicos de resistividad para cada tipo de agua Adaptado de Pari (2019).

Según Eduardo (2011), Dado que la temperatura tiene un impacto considerable en la resistividad del flujo en los estratos poros, la temperatura a la que se encuentra la roca también afecta a su resistencia. En esencia, a modo que baja la temperatura, acrecienta la resistencia, y cuando el agua se congela, se convierte en un mal conductor de la electricidad. La resistividad de ciertos minerales, y en efecto de las piedras que crean, transforma en función de la orientación de la medición realizada, o presenta anisotropía. El desarrollo de los estratos puede dar lugar a anisotropía.

Figura 5.

Rangos de resistividad para algunos minerales



Nota. En la figura se muestra el logaritmo de la resistividad para minerales y rocas

Según Eduardo (2011), El suelo es un conjunto de minerales en estado solido, gases, agua y otros componentes orgánicos e inorgánicos, según Eduardo (2011). Además de depender de la composición inherente del suelo, esta combinación hace que la resistividad del suelo también se vea afectada por variables externas como la temperatura, la humedad, la presión, etc. Debido a ellas, un mismo suelo logra presentar distintas resistividades. El más crucial de estos elementos es la humedad, que puede modificarse de forma más sencilla con el riego o las precipitaciones sobre el suelo. Diferentes resistividades serían el resultado de diferentes contenidos de humedad en el mismo suelo, lo que podría conducir a lecturas incorrectas de los componentes del suelo. La Tabla 3 proporciona una lista de valores de resistividad comunes para geomateriales.

2.2.3 Medición de la resistividad

2.2.3.1 Dispositivos Lineales

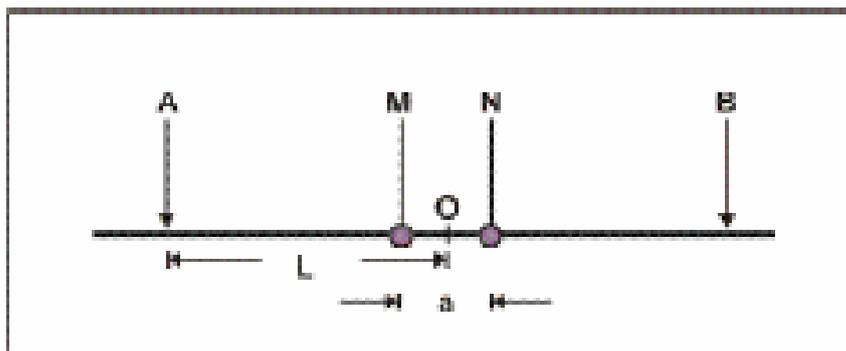
Según los diseños sugeridos por Schlumberger y Wenner, los electrodos de irrigación de corriente (A y B) y los electrodos de medida potencial (M y N) están alineados.

2.2.3.2 Configuración Schlumberger

El requisito de que el recorrido que separa AB tiene que ser superior o igual a 5MN se aplica a este dispositivo simétrico (figura 6).

Figura 6.

Dispositivo Schlumberger



Nota. En la figura se puede observar la configuración del dispositivo Schlumberger

Adaptado de Kirsch & Yaramanci (2009).

Los valores de resistividad aparente se exhiben en función de $AB/2$, y la constante geométrica es

$$K = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2) = \frac{\pi L^2}{a} \quad (3)$$

2.2.3.3 Configuración Wenner

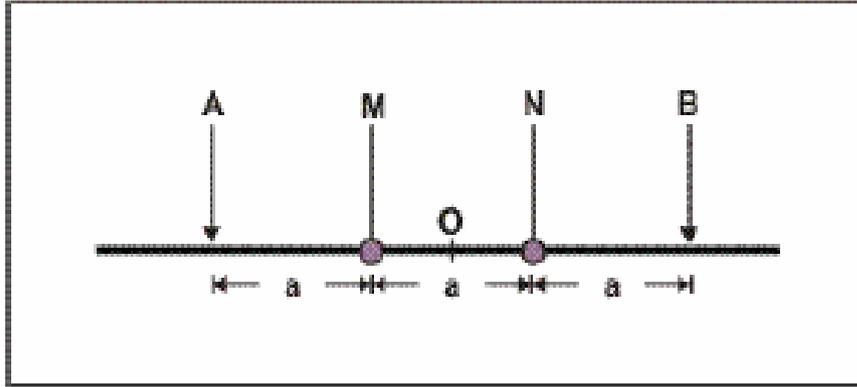
Además se trata de un conector simétrico, pero los componentes se presentan separados uniformemente (figura 7).

La constante geométrica es:

$$K = 2\pi \cdot a \quad (4)$$

Figura 7.

Dispositivo Wenner



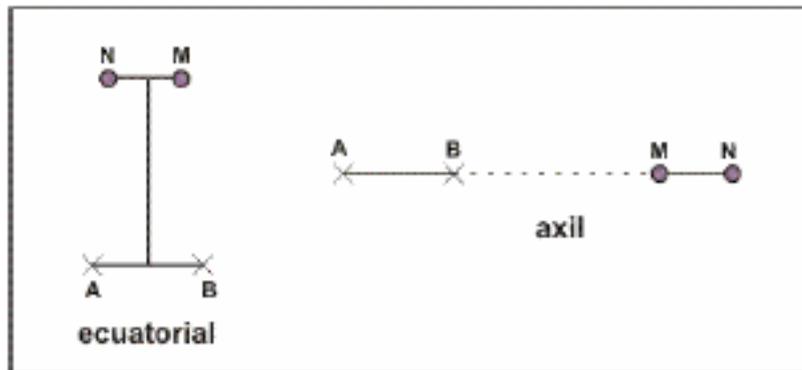
Nota. En la figura se puede observar la configuración del dispositivo wenner
 Adaptado de Kirsch & Yaramanci (2009).

2.2.3.4 Dispositivos dipolares

En la presente distribución, AB y MN los cuales se sitúan más próximos de distancia que los distancia entre sí (figura 8).

Figura 8.

Dispositivos dipolares



Nota. En la figura se puede observar la configuración de dispositivos dipolares

Adaptado de Kirsch & Yaramanci (2009).

os instrumentos dipolo-dipolo (DD) son menos comunes porque requieren mayores intensidades de corriente que los dispositivos lineales (SEV). Se emplean exclusivamente para investigaciones geoelectricas extensivas.

2.2.4 Sondeos eléctricos verticales (SEV)

La técnica de sondeo eléctrico vertical consiste en acrecentar la distancia en los electrodos emisor y receptor mientras se mide la resistencia aparente a varias profundidades en vertical desde la superficie.

A la luz del dispositivo de Schlumberger (figura 10), el VES puede dividirse en las siguientes categorías en función de la separación final entre A y B (tabla 5).

Tabla 5.

Tipos de SEV en función a longitud

TIPO DE SEV	LONGITUD	PRINCIPAL APLICACION
Corto	AB hasta 250 m	Geotecnia y arqueología
Normal	250 m < AB < 2.500 m	Hidrogeología
Largo	2.500 m < AB < 25.000 m	Prospección petrolera
Muy largo	Hasta 1.200 km	Investigación geofísica

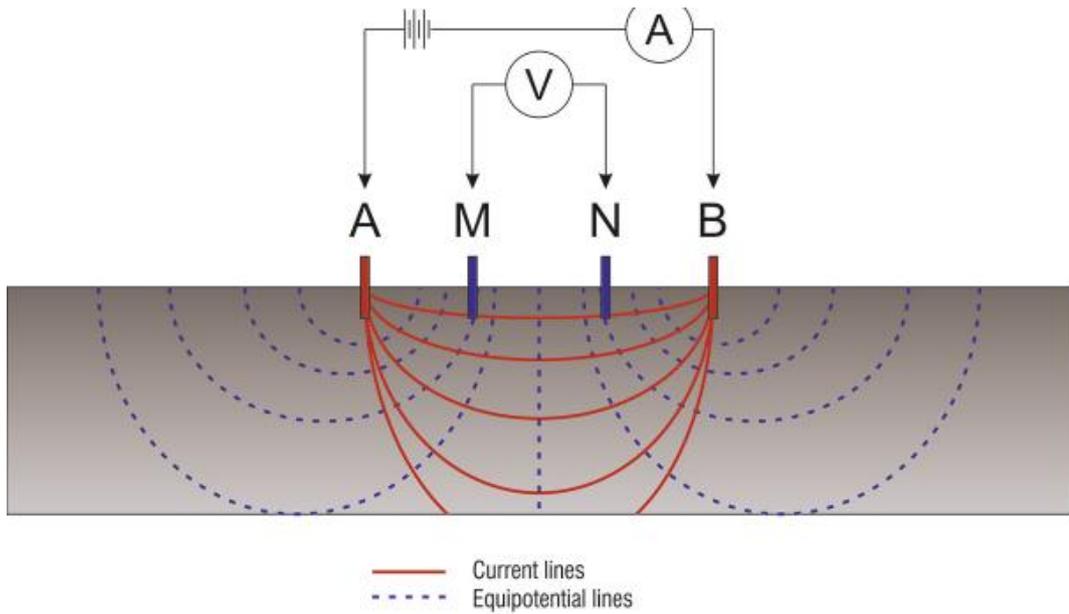
Nota. En la tabla se observa los tipos de SEV en función a la longitud y su principal, adaptado de Pari (2019).

La división de los electrodos de corriente AB determina la hondura de impregnación de la corriente eléctrica. La corriente fluye a mayor profundidad, pero la densidad disminuye a medida que acrecienta la distancia entre los electrodos AB.

El 50% de la corriente fluye sobre la profundidad AB/2 y el 70% por sobre la profundidad AB para un medio isótropo y homogéneo (Orellana, 1982).

Figura 9.

Esquema del sondeo eléctrico vertical.



Nota. En el grafico se observa el esquema del sondeo eléctrico vertical.

Adaptado de (<https://everestgeophysics.com/methods/electric/vertical-electrical-soundings/>)

Para ello es necesario crear y registrar un SEV:

Se incluye una nota de potencia, un amperímetro para controlar la intensidad de la corriente, (A y B) formados por clavos de metal de entre 0,5 y 1 m de longitud y 20 mm de diámetro, y un circuito de emisión.

En las perforaciones típicas se emplea un motor de 12 voltios conectada en serie con con convertors que unen un convertor deos 250 W de potencia. El amperímetro presenta capacidad máxima de registro de 10 A, una exactitud del 1% y una valor de 0,1 mA. El cable de transferencia está enrollado en una bobina con una capacidad de unos 500 metros y presenta una sección transversal de 1 mm².

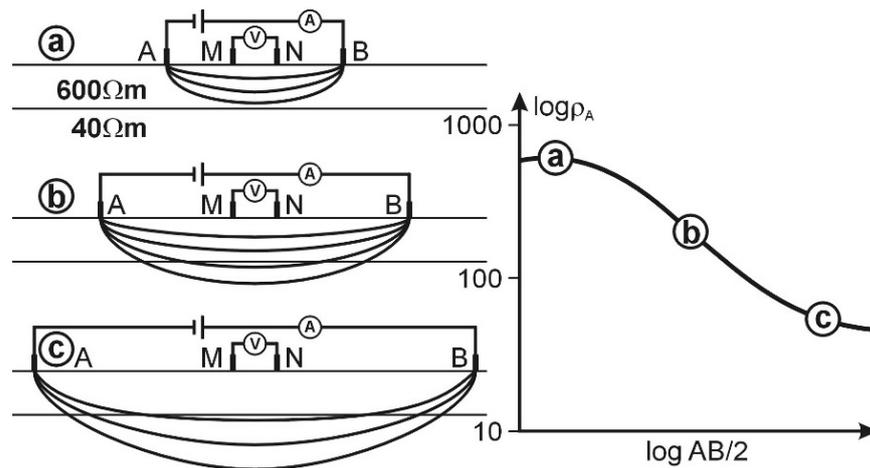
Circuito de admisión constituido por milivoltímetro eléctrico de elevada precision, dos varillas impolarizables de medida de potencial (M y N) y vidrios

porosos con una recurso saturado de sulfato de cobre en la que se cala una barra de cobre unida al hilo de medida del contorno.

Las referencias adquiridas se trazan en un diagrama logarítmico doble con los logaritmos de $AB/2$ en las abscisas y las resistividades aparentes calculadas en las ordenadas, obteniéndose una curva menguante asintótica de las resistividades particulares. Este diagrama se denomina diagrama de sondeo (Kirsch & Yaramanci, 2009).

Figura 10.

Variación de la misma en función de $AB/2$ en relación logarítmica



Nota. En la gráfica se observa la variación de la misma en función de $AB/2$ en relación logarítmica, adaptado de Kirsch & Yaramanci (2009).

Si el dispositivo es Schumberger, los valores P_a se calculan mediante la ecuación

$$P_a = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2) \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

2.2.5 Sostenibilidad del agua subterránea

Los elementos hidrológicos, ecológicos, sociales, técnicos, culturales, institucionales y jurídicos del uso de las aguas subterráneas se tienen en cuenta en un enfoque integrado de la sostenibilidad de las aguas subterráneas. intentando encontrar un compromiso justo entre intereses opuestos. Se está empezando a evaluar la sostenibilidad de las aguas naturales utilizando como referencia la conservación del flujo de base (Mamani-Ramos et al., 2019; Ponce, 2007, Ponce, 2014).

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

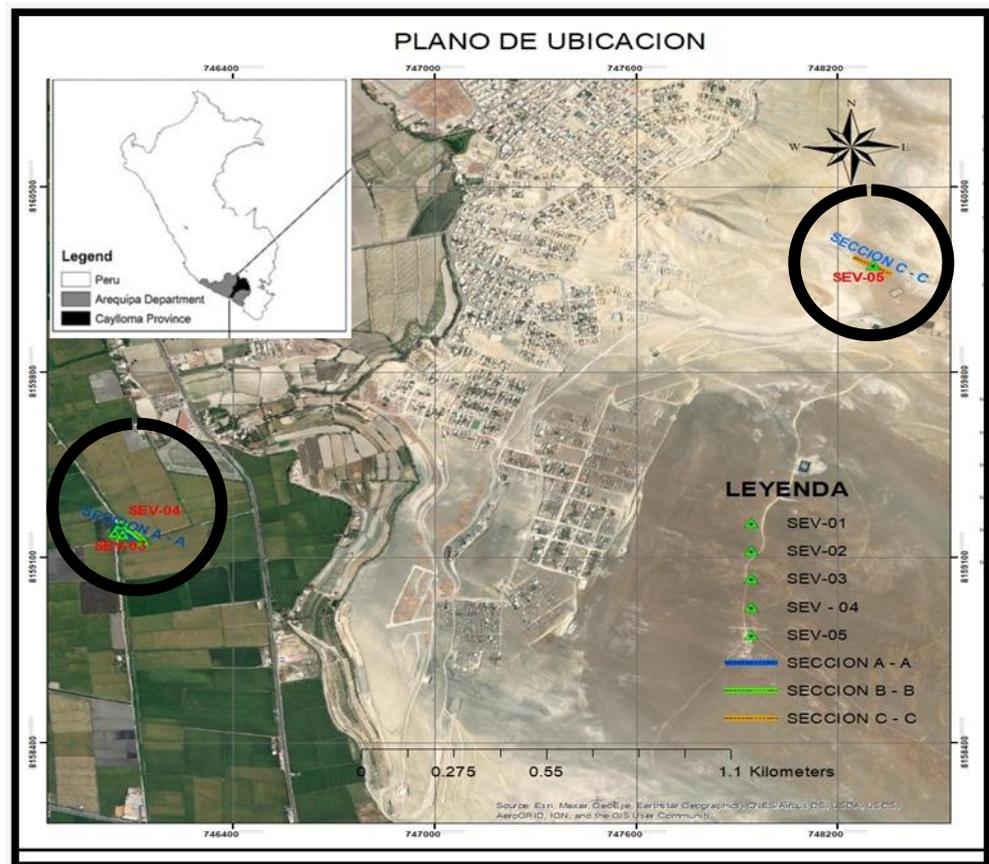
3.1 AMBITO DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación política

Los Sondajes eléctricos verticales para determinar las resistividades se realizaron en 2 sectores: sector de La Boya y sector de lomas grandes del distrito de Samuel Pastor, provincia de Camaná y región Arequipa tal como se puede ver en la figura 11.

Figura 11.

Ubicación de la zona en estudio



Nota. En la gráfica se la ubicación de los SEV en los sectores de La Boya y Lomas Grandes del distrito de Samuel Pastor - provincia de Camana.

3.1.2 Ubicación geográfica

Los Sondajes eléctricos verticales para determinar las resistividades se realizaron en 2 sectores: En el sector de La Boya en las coordenadas de 8159193Norte, 746049Este, 12m.s.n.m. y en el sector de lomas grandes en las coordenadas 8160206Norte, 748308Este, 247m.s.n.m.

El ámbito de estudio se limita por el Norte con el Distrito de Nicolas de Piérola, también Por el Sur con el Océano Pacifico, además Por el Este con el Distrito de Quilca, y por el Oeste con el Distrito de Camaná, Distrito de José María Quimper y Distrito de Nicolás de Piérola.

3.1.3 Vías de comunicación y accesibilidad

Vías de Acceso: Se accede desde la carretera de desde cualquier punto del Distrito Capital La Pampa, acceso a través de la carretera Panamericana Sur Arequipa.

Tabla 6.

Vías de Comunicación

TRAMO	TIPO DE VIA	DISTANCIA (KM)	TIEMPO EN VEHICULO
Arequipa – Camaná	Carretera Asfaltada (Panamericana Sur)	127.52	2hr 42 min
Camaná – Samuel Pastor	Carretera Asfaltada	2.20	10 min

Nota. En la tabla se observa las vías de comunicación de Arequipa a camana

3.1.4 Características geológicas y geomorfológicas

El área de estudio se halla en los sectores de La Boya y las Lomas Grandes de Camaná donde se presenta tres unidades geológicas y geomorfológicas como son la faja litoral, cordillera de costa y penillanura costanera.

- a) **Faja litoral-** Su extensión esta entre el litoral y el pide de la cadena costera, la ribera marina, terrazas y conos deyección. (en esta unidad geológica se encuentra el sector La Boya lo cual constituyen el ámbito de estudio)
- b) **cordillera de costa.** - Conjunto montañoso su extensión está muy próximo al litoral y en algunos espacios forman parte de el con ancho aproximado de 15 a 15 km tierra dentro, con laderas suaves y laderas semiescarpadas. (en esta unidad geológica se encuentra el sector Lomas Grandes lo cual constituyen el ámbito de estudio)
- c) **penillanura costanera.** - Su extensión va más allá que de la cordillera de costa con terrenos llanos suavemente ondulados. También se le conoce como pampas.

3.2 MATERIALES EQUIPOS E INSTRUMENTOS

3.2.1 Información elemental

3.2.1.1 Información e instrumentos

La información y/o instrumentos que se necesitaron fueron

- Cartas Geográficas (IGN).

- Memoria descriptiva estudio hidrogeológico para la acreditación de la disponibilidad hídrica subterránea para pozos tubulares.

3.2.1.2 Software que se utilizaron

Los Software que se emplearon para el presente estudio son:

- AutoCAD 2019
- ArcMap versión 10.5
- WinSev versión 6

3.2.1.3 Materiales que se utilizaron

Siendo los materiales que se emplearon fueron:

MATERIALES EN CAMPO

- 02 combos de 5kg
- 01 wincha de 100 metros
- 01 digital AEMC -6471
- 01 selector de voltaje transmisión máx. hasta 1000 voltios c/u.
- 02 cables de transmisión eléctrica A-B de 300.0 m c/u
- Solución electrolítica; 02 electrodos de acero INOX para emisión de corriente (A B)
- multitester digital
- 01 GPS satelital
- 01 alicates
- 01 desarmadores

MATERIALES EN GABINETE

- Laptop

- Impresora Epson 3110
- Papel bond - 4

3.2.1.4 Equipos

Los equipos para concretar la investigación son:

Equipo de prospección geofísica, georesistivimetro (GRM) modelo G-1010 en medida digital (GPS marca Garmin, radios portátiles (para comunicación) y cámara fotográfica.

3.2.1.5 Características del equipo de prospección

Tabla 7.

Características del equipo de prospección - georesistivimetro (GRM) modelo G-1010

Descripción general	Características técnicas
Prueba de la resistencia a tierra	Método de doble pinza (no se necesitan barras auxiliares)
Medición de resistencia/continuidad de enlace de 2 y 4 polos	Reversión de fase automática
Medición de la resistividad del suelo de 4 polos	Calculo automático de resistividad y selección de usuario del método de prueba Wenner o Schumberger.
Medición de acople Tipo de escaneo	Medición de acople a tierra de 3 polos. Escaneo de frecuencia manual y automático desde 41 hasta 513hz
voltaje	Voltaje de prueba seleccionable de 16 o 32 V y hasta 250Ma de corriente de prueba.
Memoria interna	Almacena hasta 512 resultados de pruebas completos en la memoria interna.
puerto	Comunicación USB aislada ópticamente
baterías	Baterías de NiMH recargables

Características técnicas	Empaque robusto a prueba de polvo y humedad. Clasificación IP54 en su posición cerrada.
Norma de ensayo	Cumple con las partes 4 y 5 de los estándares de tierra IEC 01557

Nota. En la figura se observa las Características del equipo de prospección - georesistivimetro (GRM) modelo G-1010, adaptado de ANA (2018).

Figura 12.

Telurómetro digital “AEMC – 6471”.



Nota. En el grafico se observa el Telurómetro digital “AEMC – 6471”, adaptado de ANA (2018).

Figura 13.

Equipo instrumental georesistivimetro (GRM) modelo G-1010



Nota. En el gráfico se observa el Equipo instrumental georesistivímetro (GRM) modelo G-1010, adaptado de ANA (2018).

3.3 VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

Agua subterránea – suelo y estratigrafía del suelo

3.3.2 Variable dependiente

Método eléctrico (Sondaje Eléctrico Vertical)

3.3.3 Indicadores

3.3.3.1 Indicadores directos

- **Corriente Eléctrica**

las cargas libres (ion o electrón) generan desplazamientos. La medida de estos movimientos de cargas eléctricas es la intensidad (A).

- **La diferencia de potencial**

Cuando pasa la corriente eléctrica originan un potencial eléctrico entre 2 puntos, la medida de esta diferencia son los Voltios (V).

- **Constante geométrica “K”**

La constante geométrica es la asignación, colocación de los electrodos en el área de campo, el cálculo fluctúa según la distribución utilizada, para la presente investigación será el arreglo Schlumberger.

3.3.3.2 Indicadores indirectos

- **La resistividad aparente (ohm - m.)**

Esta resistividad supuesta se obtendrá en campo, llamada así por una serie de arreglos geométricos y geológicos.

- **Las Resistividades reales o verdaderas**

Estas resistividades reales son las que se hallaran en gabinete mediante el software, con la cual se obtendrá las resistividades reales para traspasar las resistividades ideales de las capas subterráneas.

- **La Profundidad y/o horizontes de los estratos**

De igual modo se estima con el apoyo de programas.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 Población

La población en estudio, está conformada por la superficie de los sectores de La Boya y el sector de lomas grandes donde se identifica la estratigrafía asociada a la zona del acuífero

3.4.2 Muestra

Se efectuará una campaña de prospección geofísica con 05 Sondajes eléctricos verticales ubicando cada estación de los sectores de La Boya y el sector de lomas grandes.

3.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Conforme a la clasificación la presente investigación empleada es científica descriptiva con enfoque cuantitativo, se realiza la prospección geofísica donde se analiza los métodos, se describe las variables y analiza la interrelación en un determinado momento posteriormente se hacen análisis que implican una lectura final La recopilación de referencias de resistividades supuestas lo cual es medido en campo con 05 sondeo eléctricos verticales.

3.6 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para el presente trabajo de investigación se realizó el procedimiento metodológico por cada objetivo.

3.6.1 Técnicas e instrumentos

Las principales técnicas para compilar datos, empleadas en la presente investigación es la observación, ya que se efectuará el recorrido de la zona, así mismo también se utiliza la adquisición de referencias mediante la verificación documentaria de tesis, tesinas, artículos, tesis, libros, páginas web, entre otros

3.6.1.1 Fase de campo

Se reconoció e identifico los sectores de La Boya y lomas grandes de camana, así mimo se recopila información geológica local, para darnos idea de la geología presente en la zona a estudiar. así mismo revisar el proceso para realizar un sondaje eléctrico vertical.

Se aplicará la configuración y/o arreglo Schlumberger, ubicando la estación en los sectores de La Boya y lomas grandes de camana y de acuerdo a

la magnitud del proyecto. Una vez establecida la localización del punto de sondeo y la dirección de las líneas de transmisión de corriente, el arreglo Schlumberger se empleará en la estación, para obtener la información de las resistividades aparentes del suelo, para luego examinar cuantitativamente.

3.6.1.2 Fase de gabinete

Una vez terminada la fase de campo con la información obtenida de campo se procesa y luego se interpreta los Sondeos Eléctricos Verticales para el cual se utilizó el software IPI2 win (Bobachev et al., 2000)

3.7 PROCEDIMIENTO PAR IDENTIFICAR LA ESTRATIGRAFÍA ASOCIADA A LA ZONA DEL ACUÍFERO MEDIANTE LOS INTERVALOS DE RESISTIVIDAD, PARA EL APROVECHAMIENTO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LOS SECTORES DE LA BOYA Y LOMAS GRANDES DE CAMANÁ.

El dispositivo que se utiliza en el Sondeo Eléctrico Vertical es el Schlumberger. El cual se fundamenta en suministrar corriente al terreno luego su respuesta la cual es diferencia de potencial. Con estas referencias de corriente, potencial y "AB" (división entre los electrodos) se obtiene la curva "p vs. AB/2" que resume los datos geoelectricos del area.

El propósito del SEV es investigar la difusion vertical también llamada profundidad de resistividades en el lugar donde se realiza el SEV.

Para el cual se sigue el procedimiento metodológico para los SEV como se detalla:

- Sondeos Eléctricos Verticales cortos, hasta 200 m.
- Sondeos Eléctricos Verticales normales, de 200 m. hasta 2 o 3 km.
- Sondeos Eléctricos Verticales largos, entre 2 o 3 km hasta 30 o 40 km.
- Sondeos Eléctricos Verticales muy largos, hasta 1200 km.

3.7.1 Distribución de lo Sondajes eléctricos verticales

Para la distribución de los Sondajes Eléctrico Verticales el criterio que se realizo es el siguiente; realizar Sondajes verticales en dos zonas con diferentes características como son la Zona de La Boya la cual corresponde a la parte baja en zonas que tienen la misma altitud a pozos que fueron utilizados para consumo humano como el caso de los SEV-01, 02, 03 y 04, y la zona de lomas grandes donde se ubicó el SEV-05.

Para los Sondajes eléctrico verticales se inyecta una corriente eléctrica continua de intensidad que permitió una lectura en relación señal ruido aceptable, la Nota sale del transmisor pasando por una línea de transmisión A-B que finaliza el circuito eléctrico a través del suelo, estableciendo un campo eléctrico en la tierra que se mide en miliamperios (mA). Seguidamente dos electrodos M-N se ponen en contacto con la superficie de terreno equidistantes al punto central "O" (punto estación estudio) midiendo la diferencia de potencial entre ellos, el valor se obtiene con el receptor en milivoltios (mV).

El trayecto entre los electrodos M-N se conserva constante, variando el distanciamiento entre electrodos de corriente A-B este acrecienta progresivamente la profundidad de investigación al separar cada vez más los electrodos del circuito de inyección de corriente. Los valores se vuelcan en formato realizando el cálculo de

Resistividad Aparente (ρ_a) y se grafican en coordenadas logarítmicas obteniendo la gráfica de curva SEV.

Se produce un movimiento de corriente de electrodos A y B, para luego registrar la información obtenidas en campo.

Seguidamente se desplaza simétricamente los electrodos A y B en otra ubicación, por lo cual se acrecienta la distancia y se efectúa la nueva medición.

Así mismo se desplazan de nuevo los electrodos A y B, con lo cual aumenta la distancia con relación al punto del centro O, y luego se realiza otra medición.

Como resultado se obtiene una gráfica de puntos de exploración lo cual se llama curva de resistividad aparente, en donde la profundidad de investigación está en función del trayecto entre A y B, de tal manera que las líneas de corriente se profundizan debajo de la superficie; siendo mayor la separación entre A y B.

El equipo debe reunir resistividad aparente, las cuales se exportan en dat . formato después de ser extraído en bin. formato para determinar espesores . _

Las ubicaciones de cada sonda eléctrica vertical , electrodos de medición , electrodos de emisión de corriente , rangos de intensidad de corriente, voltaje primario y valores de resistividad supuesto se documentan en los datos recopilados durante la fase de campo .

3.7.2 Revisión de datos

Durante esta etapa se revisan y se determinan si los datos son los apropiados como también se eliminan datos que son incoherentes que, ocasionados posiblemente por malas conexiones, errores de valores de intensidad etc.

3.8 PROCEDIMIENTO PARA PROYECTAR LA POSIBLE UBICACIÓN DE UN POZO SEGÚN LOS HORIZONTES ENCONTRADOS EN LA ESTRATIGRAFÍA ASOCIADA A LA ZONA DEL ACUÍFERO PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA EL USO DE RIEGO TECNIFICADO LOS SECTORES DE LA BOYA Y LOMAS GRANDES DE CAMANÁ.

3.8.1 Interpretación cuantitativa

Esta se realizó con el fin de hallar las características de los cortes geoelectrico para la interpretación de los Sondeo Eléctrico Verticales las cuales son:

- resistividades verdaderas
- Horizontes y espesores

El Departamento de Geofísica de la Facultad de Geología de la Universidad Estatal de Moscú desarrolló el software de interpretación especializado IP12WIN, que se utilizó en el procesamiento cuantitativo de los SEV a través de la curva típica obtenida. Este software requiere que se elija previamente un modelo geoelectrico _que se ajusta a la información medida, y luego de un proceso repetido, se logra obtener un modelo teórico que logra mantener el minimoerror posible en relación a la curva medibleen campo , presentando

Esta operación conlleva a la determinación de los parámetros geoelectricos interpretados para los diferentes horizontes identificados (H1, H2, H3 y H4) en niveles del subsuelo para cada punto de SEV, dichos parámetros son la Resistividad (R) en unidades ohm-m y Horizontes (H) en metros en el espacio vertical se observa

en los anexos la Data Gráfica Curva de Resistividad procesado e interpretado por Software

3.8.2 Representación de Datas Procesadas

Las Datas procesadas de Sondaje Eléctrico Vertical SEV-1, SEV-2, SEV-3, SEV-04 Y SEV-05 están representadas desde los Parámetros Geoeléctricos calculados a partir del cual se elaboró la Columna Geoeléctrica Puntual esquematizada en forma individual en el punto de estudio, cuyos horizontes litológicos diferenciados están simbolizados de color y la interpretación correspondiente con significado geotécnico indirecto

Sección A - A - Zona de La Boya

En este corte o llamado sección interviene los SEV 01, 03 y 02, esta sección A - A ubicado en la Zona de La Boya se estima que a partir del resultado de la observación de la resistividad y el espesor de la capa y el número de horizontes en la sección con una profundidad de exploración.

Sección B-B - Zona de La Boya

En este corte o llamado sección interviene SEV 04, 02, esta sección B - B ubicado en la Zona de La Boya se estima que a partir del resultado de la observación de la resistividad y el espesor de la capa y el número de horizontes en la sección con una profundidad de exploración

Columna Geoeléctrica puntual C - Zona Lomas Grandes de Camaná

En este corte o columna geoeléctrica puntual interviene solamente el SEV 05, el cual está ubicado en la Zona de Lomas Grandes de Camaná se estima que a partir

del resultado de la observación de la resistividad y el espesor de la capa y el número de horizontes en la sección con una profundidad de exploración.

3.8.3 Recarga hídrica del acuífero

La recarga es el método por el cual el agua ingresa a un acuífero desde el exterior, así como la cantidad de agua que ingresa al acuífero entre un período de tiempo específico (Custodio & Llamas , 2001).

La recarga difusa sucede en áreas amplias con fluido de precipitación y generalmente se equipara con una percolación profunda ; este tipo de recarga es dominante en ambientes húmedos . La recarga local , por otro lado , ocurre donde hay un período largo de conservación de agua ; recarga locales probablemente más significativo en zonas áridas o semiáridas (Almanza, 2016)

3.8.4 Inventario de agua subterránea

No se detectaron descargas naturales de agua subterránea dentro de la zona de dominio directo del área, pero se puede observar que hay varios pozos que están operativos todo el año, lo que permite la identificación de estas notas de agua. En consecuencia, sería ideal considerar estos puntos donde se han ubicado notas de agua artificial y/o pozos a tajo abierto. Los cuales son utilizados para consumo humano.

Se realizo un inventario para establecer la cantidad de pozos, para determinar y conocer la situación en la que se encuentran los pozos y también establecer el volumen de agua para explotación en el acuífero.

Figura 14.

Ubicación pozo en Camaná



Nota. En el grafico se observa el pozo para agua potable en el distrito de Samuel pastor – PBA.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 IDENTIFICAR LA EXISTENCIA DE CAPA FREÁTICA Y ESTRATIGRAFÍA MEDIANTE LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA PARA SU APROVECHAMIENTO HÍDRICO SUBTERRÁNEO, A TRAVÉS DE UN POZO TUBULAR EN EL DISTRITO DE SAMUEL PASTOR - CAMANÁ - AREQUIPA

4.1.1 Fase de campo

Durante la presente investigación se realizó 05 sondeos eléctricos verticales, lo cual se detalla en la tabla 13, representando los valores como la Z(altitud), coordenadas X y Y como también la profundidad de estudio aproximada en m.

Tabla 8.

Tabla de coordenadas de los Sondeos Eléctricos Verticales

N° SEV	Z (Altitud)	X	Y	PROF. (m) APROX.
Sev – 01	9	8159193	746049	50
Sev - 02	9	8159164	746134	50
Sev - 03	10	8159188	746073	50
Sev - 04	7	8159226	746067	50
Sev - 05	247	8160206	748308	80

Nota. En la tabla se muestra las coordenadas de los Sondeos Eléctricos Verticales

Las profundidades máximas de investigación se distribuyeron a una profundidad aproximada de 50m y 80m.

Choquehuanca (2015), utilizó la técnica de perforación eléctrica vertical en la subcuenca Macuya , y efectuó 20 registros SEV con el arreglo de Schlumberger tomando 17 lecturas a una distancia de 500 m y una distancia mínima de 300 m. efectuándose 19 SEV de Schlumberger empleado, pero con la diferencia que el estudio se efectuó en una microcuenca.

Alarcón (2016), En la región pampeana "La Estrella" del distrito de Uchumayo-Arequipa, estoy realizando 14 sondeos utilizando el método SEVs, tomando 10 lecturas en cada lugar con profundidades de exploración de 30, 40, 50, 50, 70, 100, 150, 150, 200, 250, 300 y más a 350m AB /2. Estoy usando el equipo modelo DDC-2B ; la perforación se puede hacer con equipos de diversos modelos y marcas, con diferencia en el manejo

Pari (2019), realizó la investigación titulada “Aplicación de la Resistividad para la Exploración de Aguas Subterráneas en la Microcuenca Yanamayo – Azángaro donde se concluye que en la microcuenca Yanamayo”, la presencia de agua subterránea se encontraron en SEV-2, que tenía un estrato saturado de 11 metros de espesor y una resistividad de 12 ohm-metros, SEV-3, que tenía 25 metros de espesor y una resistividad de 9 ohm -metros, SEV-4, que tenía un espesor de horizonte saturado de 19 metros de espesor y una resistividad de 6 ohm-metros, SEV-5, que tenía un espesor saturado de 10 ohm y resistividad de 15 ohm - m.

Según (2022) en su tesis titulada “Estudio geofísico para la exploración de aguas subterráneas mediante sondeos eléctricos verticales en el Centro Poblado de Marcuyo y la Comunidad Campesina Chojñachojñani, Distrito de Pilcuyo, Provincia de el Collao, Región Puno” Señala en el C.P. de Marcuyo y la C.C. Chojñachojñani en el año 2019. Se distinguen 3 estratos definidos E_0 , E_1 y E_2 con las siguientes

características: El estrato E₀ que corresponde a suelos superficiales de sedimentos limo arcillosos con arenas finas. El estrato E₁ que indica la ocurrencia de sedimentos de capas de arena gruesa y grava. El estrato E₂ vendría a conformar el nivel de fondo compuesto de sedimentos estratificados de limos y arcillas con intercalación de capas de arena gruesa.

4.1.2 Resultados de los Sondajes eléctricos verticales.

Los datos que se revisaron y se determinaron que eran los apropiados para la presente investigación se detallan en las tablas.

Tabla 9.

Resultados de los SEV-01

SEV-01		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
1.5	0.5	496
2	0.5	486
3	0.5	412
3	1.5	405
5	1.5	259
7.5	1.5	128
10	1.5	60.6
10	5	61.9
15	5	43.6
20	5	42.1
25	5	42.6
30	5	41.2
30	15	40
40	15	37.6
50	15	35.1
75	15	30.8

Nota. En la tabla se muestra os valores de resistividad que varían desde 496 ohm – m hasta 30.8 ohm - m

Tabla 10.*Resultados de los SEV-02*

SEV-02		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
1.5	0.5	47.4
2	0.5	42.9
3	0.5	40.8
3	1.5	44.8
5	1.5	42
7.5	1.5	40.2
10	1.5	41.6
10	5	37.4
15	5	41.5
20	5	50.1
25	5	52.8
30	5	53.7
30	15	52.3
40	15	50.1
50	15	44.3
75	15	36.1

Nota. En la tabla se muestra los valores de resistividad varían desde 47.4 ohm – m hasta 36.1 ohm – m.

Tabla 11.*Resultados de los SEV-03*

SEV-03		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
1.5	0.5	37.8
2	0.5	36.8
3	0.5	31.2
3	1.5	29.3
5	1.5	20.7
7.5	1.5	22.7
10	1.5	23.6

10	5	23.2
15	5	23.4
20	5	24.5
25	5	24.7
30	5	26.7
30	15	33.5
40	15	32.4
50	15	30.8
75	15	17.3

Nota. En la tabla se muestra los valores de resistividad varían desde 37.8 ohm – m hasta 17.3 ohm – m.

Tabla 12.

Resultados de los SEV-04

SEV-04		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
1.5	0.5	8.94
2	0.5	9.65
3	0.5	9.64
3	1.5	11.9
5	1.5	13
7.5	1.5	15.8
10	1.5	19.2
10	5	18.2
15	5	23.6
20	5	27.7
25	5	31
30	5	33
30	15	31.6
40	15	36
50	15	38.2
75	15	39.6

Nota. En la tabla se muestra los valores de resistividad que varían desde 8.94 ohm – m hasta 39.6 ohm – m.

Tabla 13.

Resultados de los SEV-05

SEV-05

AB/2	MN	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
5	4.1	21
10	7	7
20	5.4	2
30	12.3	21
80	-	-

Nota. En la tabla se muestra los valores de resistividad que varían desde 21 ohm – m hasta 2 ohm - m.

4.1.3 Fase de gabinete

Una vez realizado el sondeo eléctrico vertical y registrado los datos de las resistividades aparentes. Se procesa los valores con el software y se realiza la gráfica la curva de resistividad aparente lo cual se interpreta y verifica los estratos y capas de cada SEV. (Ver los anexos 1, anexo 2, anexo 3, anexo 4, anexo 5). El mismo que se detalla en la tabla 14, datos procesados por el software.

4.1.4 Secciones geoelectricas

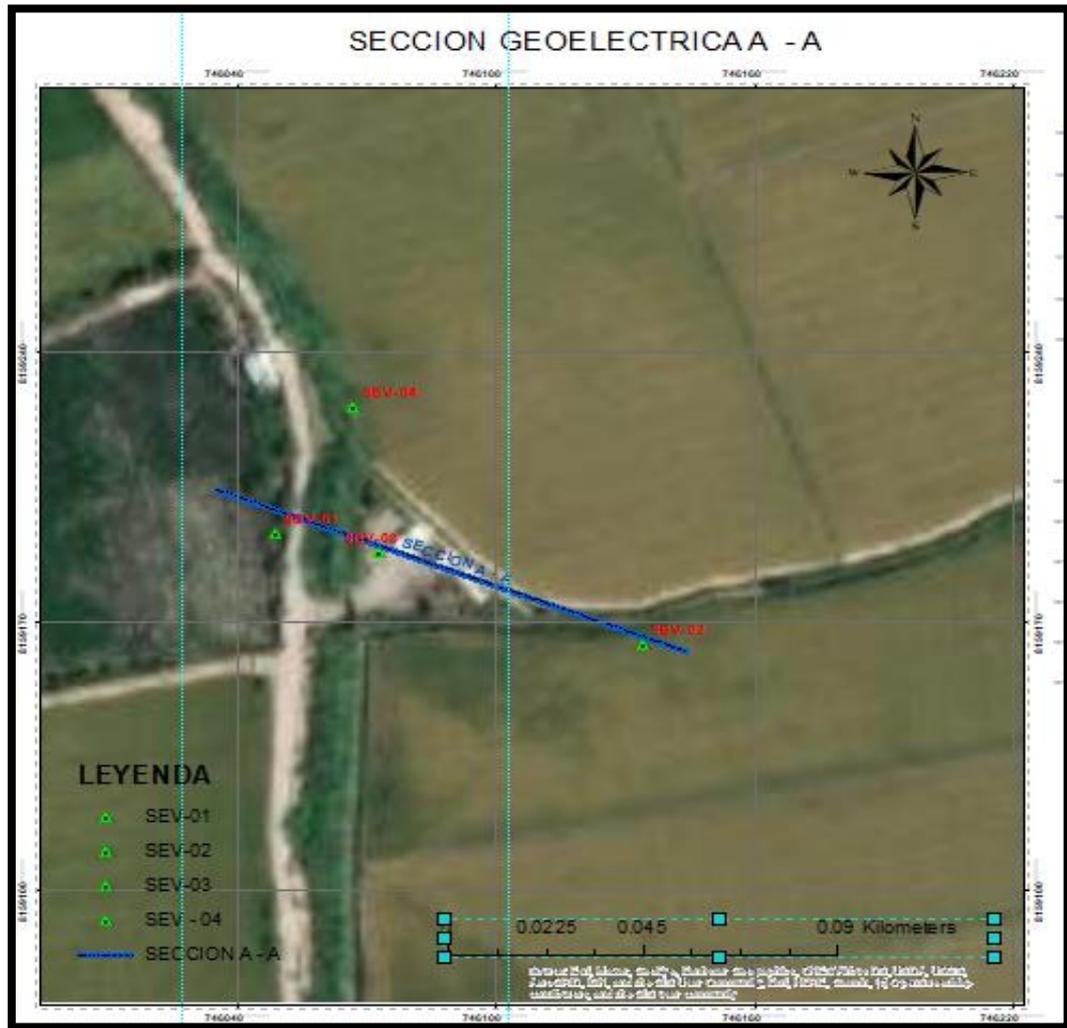
Los sondeos eléctrico verticales en función del espesor y la resistividad, permiten nos permite establecer 02 secciones y/o cortes geo eléctricos A - A, B - B, y una columna geo eléctrica vertical lo cual es necesario para identificar los horizontes encontrados en la estratigrafía asociada a la zona del acuífero el cual se detalla.

4.1.4.1 Interpretación de Sección Geoelectrica A - A' - Zona de La Boya

En la Zona de La Boya se efectuaron 4 SEV, DE los cuales el SEV-01, SEV-02 y SEV-03 conforma la sección geoelectrica A-A con el proposito de estimar su litología y las propiedades del acuífero. Tal como se observa en la figura 15.

Figura 15.

Ubicación de Sondeos y Sección Geoeléctrica A - A

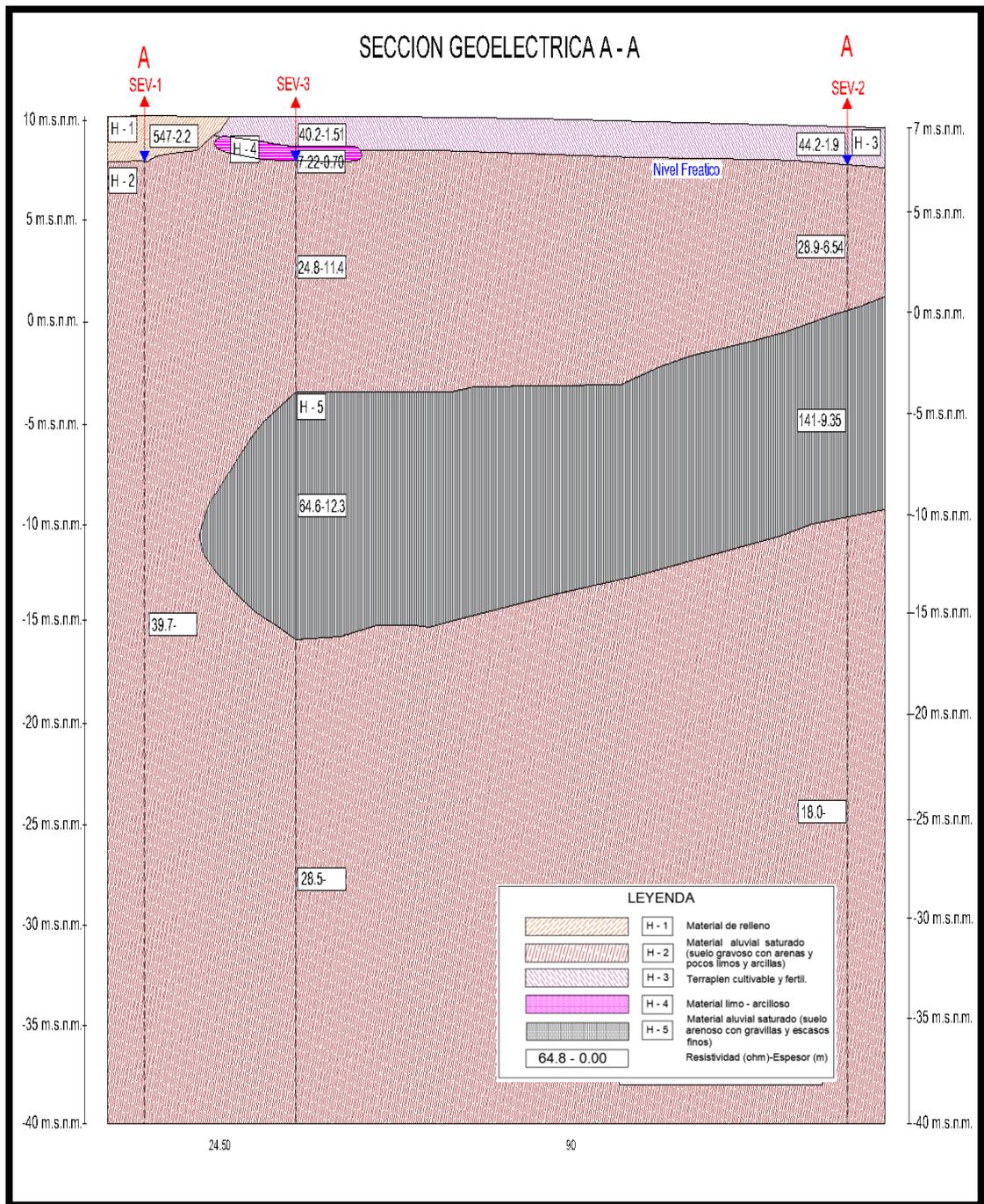


Nota. En la gráfica se observa la ubicación de los sondeos SEV-01, SEV-02 y SEV-03 que conforman la sección geoeléctrica A - A en el sector de La Boya

Así mismo se muestra en la figura 18 la gráfica de la sección geoeléctrica A-A

Figura 16.

Sección geoeléctrica A - A



Nota. En la gráfica se observa la sección geoelectrica A – A conformada por los SEV'S 01, 02 y 03, la profundidad de exploración que se realizó en estos SEV'S fue de 40m.

Esta sección A – A conformada por los SEV'S 01, 02 y 03, la profundidad de exploración que se realizó en estos SEV'S fue de 50m.

La formación encontrada corresponde a materiales de relleno semicompacto a compacto y materiales de origen aluvial saturados con compactación moderada a baja.

Con la finalidad de analizar, se han encontrado 06 horizontes, que se narra a continuación.

Horizonte 01 (H - 1)

El 1er horizonte se presenta el SEV 01, con una resistividad de 523ohm-m, con espesor de 2.40m conformado por material de relleno semicompacto hasta compacto.

Horizonte 02 (H - 2)

El 2do horizonte se presenta en los SEV'S 01, 02 y 03, variando en una resistividad de 13 a 37.9 ohm-m con espesor sin esclarecer, resaltando los 50m de profundidad; tratándose de materiales aluviales (suelo con grava y arenas y presencia de limos con arcillas).

Horizonte 03 (H - 3)

Está ubicado en los SEV 02 y 03 y está construido con un material de origen aluvial con un rango de resistividad de 40,2 a 44,2 ohm-m y un espesor promedio de 1,90 m. (terraplén cultivable y fértil).

Horizonte 04 (H - 4)

Está situado en SEV 03 y es un material aluvial con un rango de resistividad de 7,2 ohm-my un espesor de 0,70 m . (suelo limo-arcilloso).

Horizonte 05 (H - 5)

Está situado en los SEV 02 y 03, tiene un espesor promedio de 11 m , un rango de resistividad de 64,6 a 141 ohm-m y está constituido por un material aluvial (suelo arenoso con gravas y finos escasos).

Agua encontrada en los Sondeos Eléctricos Verticales

En el Sondeo Eléctrico Vertical 01, se infiere poder encontrar agua a 2.20m de profundidad.

En el Sondeo Eléctrico Vertical 02, se infiere poder encontrar agua a 1.90m de profundidad

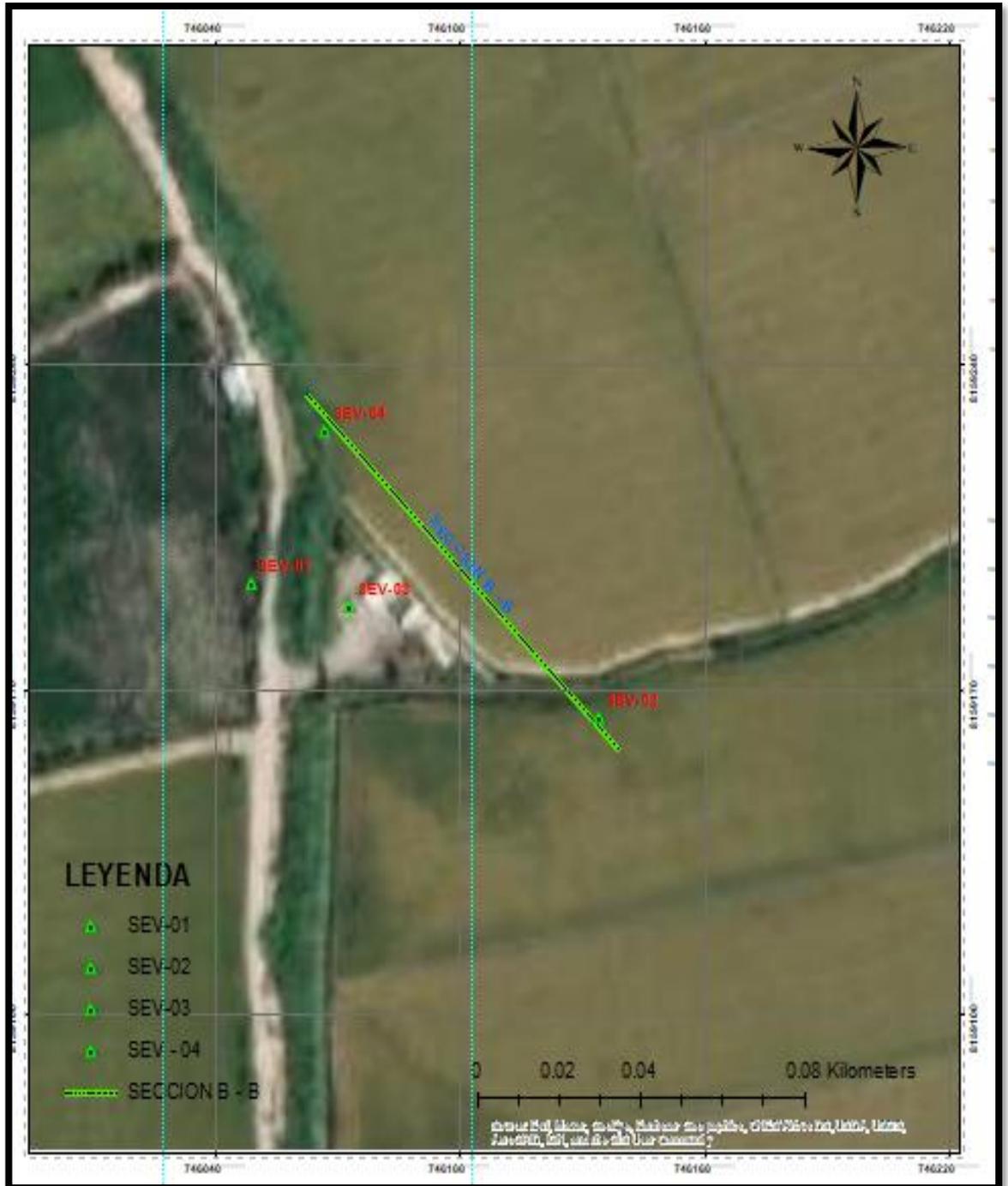
En el Sondeo Eléctrico Vertical 03, se infiere poder encontrar agua 2.30m de profundidad.

4.1.4.2 Interpretación de Sección Geoeléctrica B- B' - Zona de La Boya

En la Zona de La Boya se efectuaron 4 SEV, de los cuales el SEV-02 Y 04 conforma la sección geoeléctrica B - B con el propósito de estimar su litología y las propiedades del acuífero. Tal como se aprecia en la figura 17.

Figura 17.

Ubicación de Sondeos y Sección geoelectrica B – B

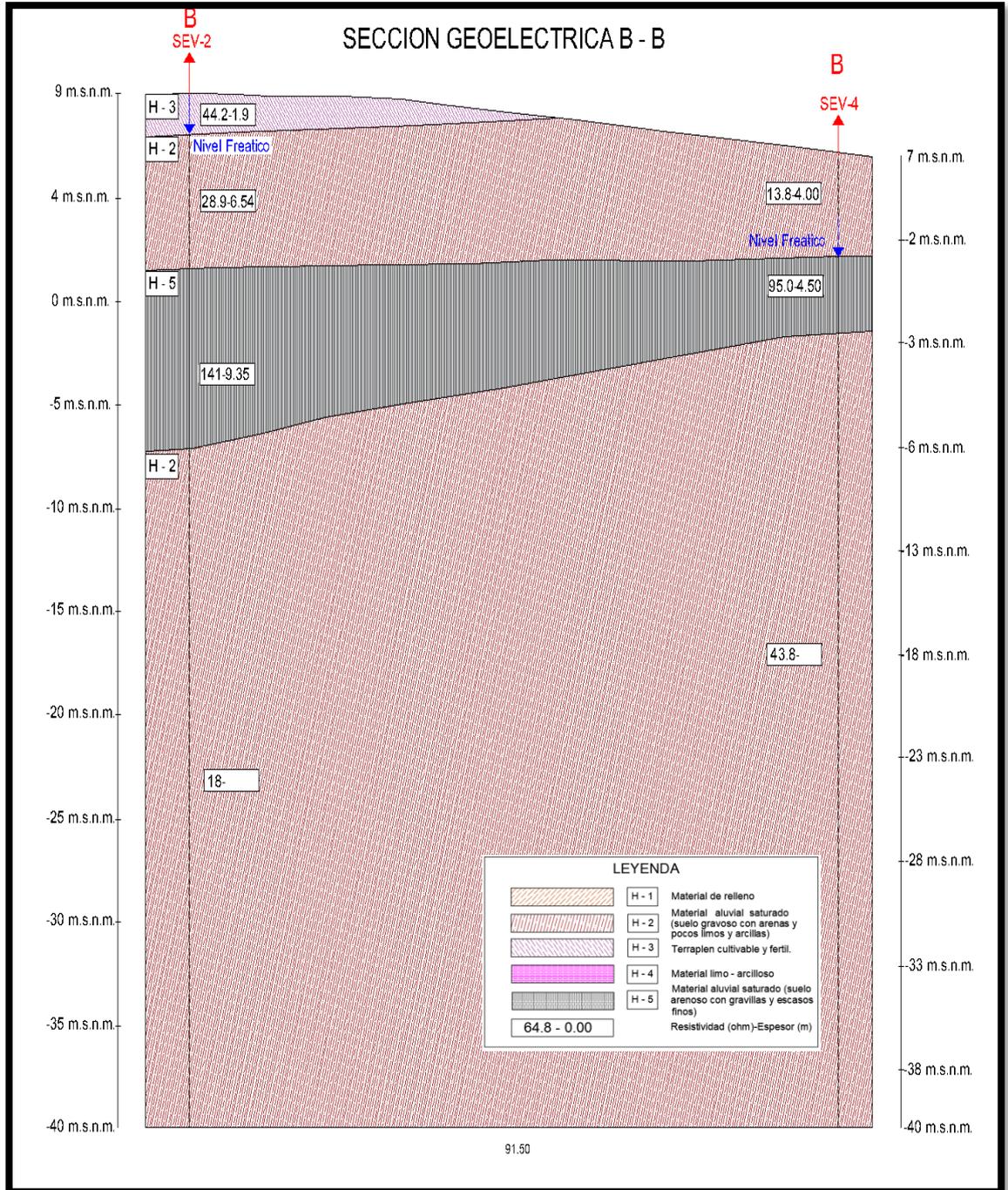


Nota. En la gráfica se observa la ubicación de los sondeos SEV-02 y SEV-04 que conforman la sección geoelectrica B - B sector de La Boya

Así mismo en la figura 18 se exhibe la gráfica de la Sección Geoeléctrica B-B

Figura 18.

Sección geoeléctrica B - B



Nota. En la gráfica se observa la sección geoeléctrica determinado en un punto ejecutado de sector La Boya de Camaná en esta sección B – B conformada por los SEV'S 02 y 04, la profundidad de exploración que se realizó en estos SEV'S fue de 50m

La formación encontrada corresponde a materiales de relleno semicompacto a compacto y materiales de origen aluvial saturados con compactación moderada a baja.

Con la finalidad de analizar, se han definido tres horizontes, que se exhibe a continuación.

Horizonte 02 (H - 2)

El segundo horizonte se ubica en los SEV'S 02 y 04; tiene un espesor incierto y una profundidad de más de 50 metros, con una resistividad que oscila entre 13 y 28,9 Ohm -m. Este material es de origen aluvial (suelo cascajoso con arenas y presencia de limos más arcillas).

Horizonte 03 (H - 3)

Está situado en el SEV 02 y fue formado por un material aluvial con una resistividad de 44,2 Ohm -m y un espesor de 1,90 metros (terraplén cultivable y fértil).

Horizonte 05 (H - 5)

Se sitúa en los SEV 02 y 04, con un espesor aproximado de 4,4 a 9,3 metros, y un rango de resistividad de 64,6 a 141 Ohm-m. Fue formado por un material aluvial (suelo arenoso con gravas y finos escasos).

Agua encontrada en los Sondeos Eléctricos Verticales

En el Sondeo Eléctrico Vertical 02, se encontró agua a 1.90m de profundidad

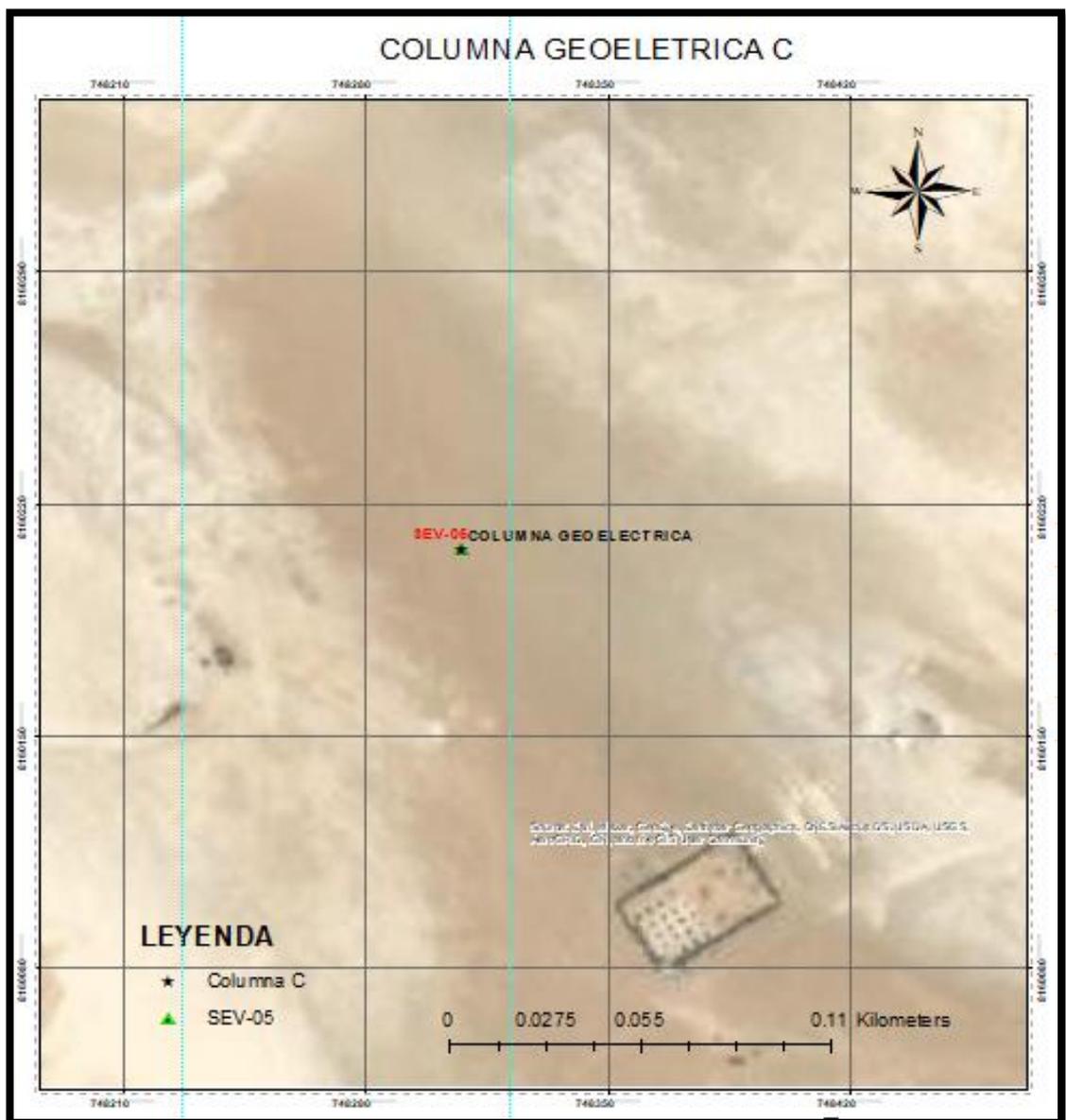
En el Sondeo Eléctrico Vertical 04, se encontró agua a 0.00m de profundidad.

4.1.4.3 Interpretación de La columna geoelectrica puntual C- Zona Lomas Grandes de Camaná.

En la Zona de Las Lomas Grandes de Camaná se realizaron 1 Sondaje Eléctrico Vertical, del cual el SEV-05 conforma la Columna geoelectrica C con la proposito de estimar su litología y las propiedades del acuífero Tal como se observa en la figura 19

Figura 19.

Ubicación de Sondeos y columna geoelectrica puntual C

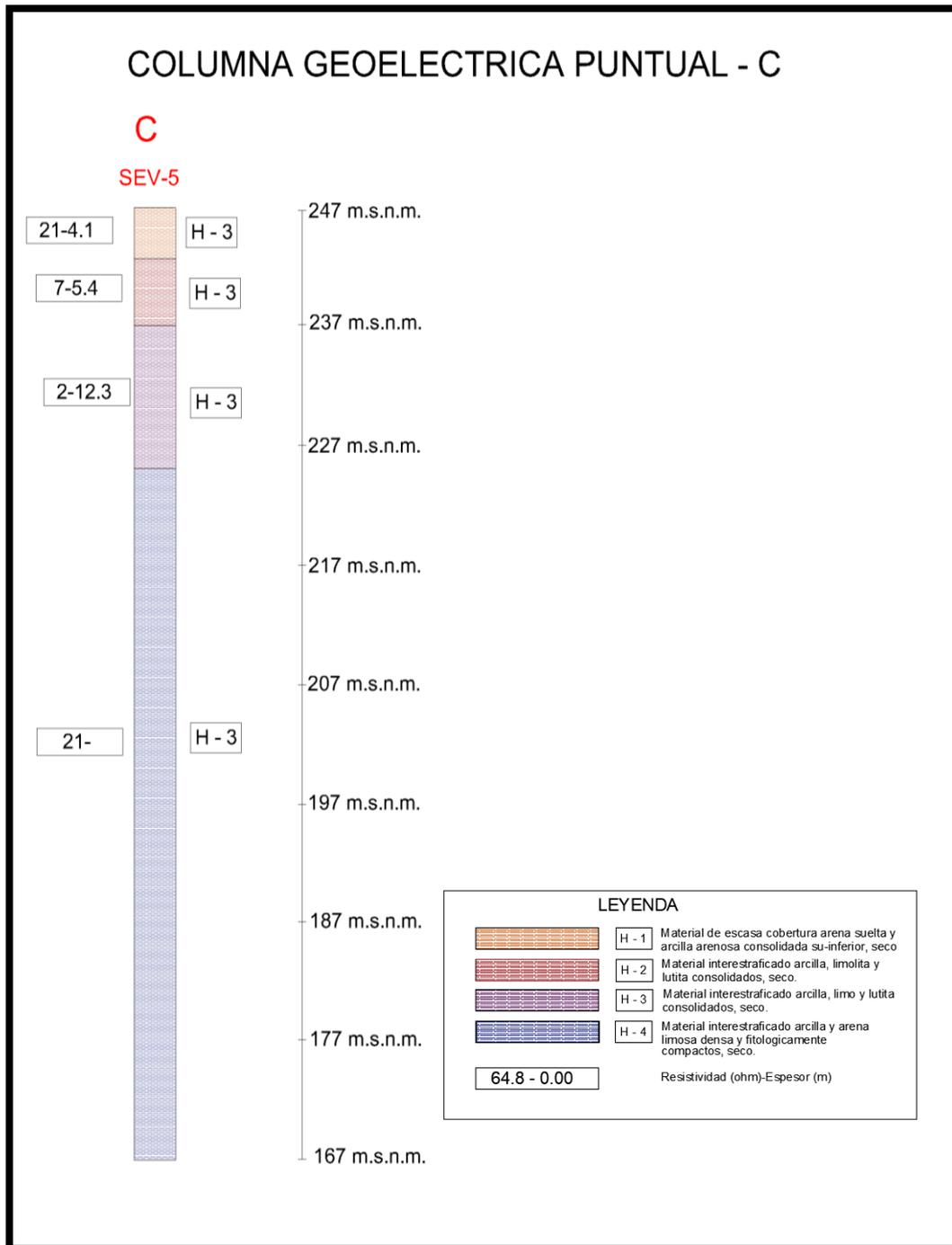


Nota. En la gráfica se observa la ubicación del SEV-05 el cual conforma la columna geoelectrica puntual C determinado en un punto ejecutado de sector Las lomas Grandes de Camaná.

así mismo en la figura 20 se muestra la gráfica de la columna geoelectrica puntual C

Figura 20.

Columna Geoelectrica puntual C



Nota. La columna geoelectrica puntual C determinado en un punto ejecutado de sector Las lomas Grandes de Camaná en esta sección comprende el SEV - 01, llegando a una profundidad de investigación de 80m. Las estructuras determinadas corresponden a cobertura de arena suelta y arcilla arenosa de estado seco.

Con fines de interpretación, se los han encontrado c05 horizontes, que se exhiben a continuación.

Horizonte 01 (H - 1)

El primer horizonte se presenta en el SEV 01, Horizonte superficial (color café) de resistividad 21 ohm-m que interpreta a material con escasa cobertura de arena suelta y arcilla arenosa consolidado.

Horizonte 02 (H - 2)

El segundo horizonte se presenta en los SEV'S 01, Horizonte sub superficial (color naranja) de resistividad 7 ohm-m que refiere a material interestratificado de arcilla, limolita y lutita consolidados en estado seco de espesor 5.4 metros

Horizonte 03 (H - 3)

Se le encuentra en el SEV 02 y 03, Horizonte sub intermedia (color rojo) de resistividad 2 ohm-m que concierne a material interestratificado de arcilla, limo y lutita consolidados de estado seco, con espesor 1 2.3 metros•

Horizonte 04 (H - 4)

Se encuentra en el SEV 03, Horizonte sub yacente (color morado) cuya resistividad 21 ohm-m se correlaciona a material interestratificado de arcilla y arena limosa, densa y litológicamente compactos de estado seco, presenta

espesor no determinado que significa continuidad a más profundidad en el alcance de penetración del estudio

Nivel freático

En el SEV 01, no se ha determinado NF

4.1.4.4 Acuífero

El área de estudio del sector de La Boya está formada por acumulaciones recientes de origen aluvial con características arenas, gravas, gravillas, conglomerados y limos de manera desordenada. Esta formación estaría apoyada sobre sedimentos de la formación Camaná conformados de litología con carácter limo arcilloso.

Se podría afirmar la existencia de un acuífero, en función del análisis realizado en los Horizonte H2 y H5 de litologías con características de gravas, arenas, gravillas y limos las cuales son permeables y son portadoras de aguas subterráneas las cuales pueden ser explotadas a través de perforaciones de un pozo tubular.

La acumulación de agua provendría de las desembocaduras del río Camaná y de la filtración de riego por inundación que existe en la zona por el cultivo del arroz.

El subsuelo en el área en estudio De los cuatro horizontes diferenciados como muestra la columna Geoeléctrica de SEV-1, los Horizontes- H2 (color naranja) y H3- (color rojo) es- el de más. notorio por su naturaleza litológica mayormente de arcillas de condición prácticamente impermeable.

Así mismo en horizonte H1 (color café) el rango de resistividad refiere una naturaleza litológica en mayor volumen de textura con características arcillosas con características de baja permeabilidad.

También la columna vertical del horizonte H5 (color morado) su resistividad interpretada indica un arreglo litológico con presencia arcillosa mayoritaria, refiriendo un comportamiento de baja permeabilidad en la ubicación.

4.1.4.5 Morfología del Acuífero

Como se puede mostrar en las secciones Geo eléctricas del sector de La Boya, el acuífero presenta una morfología irregular tanto en forma horizontal como vertical.

En general la configuración de la morfología subterránea del sector Lomas Grandes se puede asumir características prácticamente impermeables, así como de baja impermeabilidad en sus componentes litológicos de la columna desde su contacto superficial hasta 100.0 metros de profundidad aproximadamente de acuerdo a la penetración con el estudio

4.1.4.6 Napa Acuifera

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la prospección geofísica, se puede demostrar la presencia de un acuífero productivo en el sector de La Boya y un acuífero no productivo en el sector de Lomas Grandes de Camaná.

En la zona del sector de La Boya se encontró un acuífero la cual se encuentra semiconfinado.

Del sondeo eléctrico vertical se podría afirmar la existencia de un acuífero, en función del análisis realizado en los Horizontes H2 y H5 de litologías con características de gravas, arenas, gravillas y también limos las cuales son permeables y son portadoras de aguas subterráneas las cuales pueden ser explotadas a través de perforaciones de un pozo tubular.

Tabla 14.

Resultado de la interpretación cuantitativa de los SEVs

INTERPRETACIÓN DE HORIZONTES GEOELÉCTRICOS, RESISTIVIDADES VERDADERAS Y ESPESORES					
ESTACION	HORIZONTE	RESISTIVIDAD (Ω .m)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD D (m)	Altitud (m.s.n.m.)
SEV - 01	H - 01	547	2.2	-	9
	H - 02	39.7		2.2	6.8
SEV - 02	H - 01	44.2	1.9	-	9
	H - 02	28.9	6.54	1.9	7.1
	H - 03	141	9.35	8.45	0.55
	H - 04	18		17.8	-8.8
SEV - 03	H - 01	40.2	1.57	1.57	8.43
	H - 02	7.22	0.666	2.23	7.77
	H - 03	24.8	11.4	13.7	-3.7
	H - 04	64.6	12.3	25.9	-15.9
SEV - 04	H - 01	9.9	4	-	9
	H - 02	47	4.4	4	3
	H - 03	59.5		8.4	-1.4
SEV-05	H - 01	20.52	4.133	-	247
	H - 02	6.769	5.354	4.133	242.87
	H - 03	1.744	12.29	9.487	237.51
	H - 03	20.58		21.78	225.22

Nota. La tabla muestra los valores necesarios para interpretar y describir la litología potencial de los sondeos eléctricos verticales, identificando previamente los estratos con resistividades que se asemejan al agua subterránea. Esta información será útil para un análisis posterior donde será práctico realizar cortes geoelectricos y recopilar datos completos sobre el comportamiento de los acuíferos saturados.

Alarcón (2016), en su estudio menciona utilizar el software IPI2WIN para crear figuras de las curvas de resistividad aparente y determinar la cantidad de estratos para cada SEV con el propósito de establecer las resistividades y grosores de los estratos en su estudio , llevado a cabo en la Pampa .región conocida como el distrito de "La Estrella" de Uchumayo-Arequipa En este estudio se empleo el software WinSev 6 . siendo la resistividad aparente a real están en la clase de 5.8 ohm - m en SEV-18 y un máximo de 120 ohm - m e igualando 6 estratos u horizontes. Las resistividades verdaderas sonen de 57 ohm - m en SEV-2 a 120 000 ohm - m en SEV-9, con un máximo

Castillo (2017) efectuo un levantamiento geofísico en el Buselcat Asia-Caete, Lima, utilizando la técnica de tomografía eléctrica , realizado con el programa RES1D de Geotomo, y el proceso de información es con el metodo de mínimos cuadrados , que además esclarece la cantidad de capas y también sercapaz de interpretarlos ; en su segunda parte, se efectua con la tecnica dipolo polo para evidenciar si la información es similar, y se emplea el programa RES2DINV de Geoto

4.2 MEDIANTE LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA PLANTEAR LA POSIBLE UBICACIÓN DE UN POZO PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA EL USO DE RIEGO TECNIFICADO EN EL SECTOR LOMAS GRANDES DE CAMANÁ, DENOMINADO CADILLAL I, II, AGROINDECA, SAMUEL PASTOR - CAMANÁ - AREQUIPA.

Teniendo los valores obtenidos y así mismo las características de las resistividades se realizaron 5 Secciones geo eléctricas para un mejor análisis de los horizontes detectados y así determinar el comportamiento del acuífero en el área investigada

4.2.1 Secciones - cortes geo eléctricas

El análisis realizado de las 3 secciones nos permite deducir las características geo eléctricas de las capas que conforman el acuífero en los sectores de La Boya y el sector de lomas grandes así mismo se detalla el comportamiento del horizonte con presencia de humedad en relación a su resistividad y espesor.

Tabla 15.

Sección geo eléctrica A-A.

SECCION A-A SEV 01, 02 Y 03		
HORIZONTE	DESCRIPCION	
H-1	Este horizonte está presente en el SEV - 01, la cual tiene una resistividad de 523ohm-m, espesor de 2.40m constituido por material de origen aluvial y relleno semicompacto a compacto.	se puede deducir que existe un horizonte con humedad a partir de los 2.20m de profundidad
H-2	Este horizonte está presente en los SEV 01, SEV 02 y SEV -03, la cual tiene una resistividad de 13 a 37.9 Ohm-m no se determina el espesor, constituido por material de origen aluvial, suelo gravoso con arenas y existencia de limos más arcillas.	En el SEV 02, se puede deducir que existe un horizonte con humedad a partir de 1.90m de profundidad
H-3	Este horizonte está presente en los SEV 02 y SEV 03, la cual tiene una resistividad de 40.2 a 44.2 Ohm-m,	En el SEV 03, se puede deducir que existe un horizonte con humedad a

	espesor de 1.90m, constituido por un material de origen aluvial, terraplén cultivable y fértil.	partir de los 2.30m de profundidad
H-4	Este horizonte está presente en el SEV 03, la cual tiene una resistividad de 7.2Ohm-m, espesor de 0.70m, constituido de material de origen aluvial, suelo limo - arcilloso.	En el SEV 03, se puede deducir que existe un horizonte saturado a partir de los 2.30m de profundidad
H-5	Este horizonte está presente en los SEV 01 y SEV 03, la cual tiene una resistividad de 64.6 a 141 Ohm-m, espesor de 11 m, constituido por material de origen aluvial; suelo arenoso con gravillas y escasos finos.	En el SEV 02, se puede deducir que existe un horizonte saturado a partir de los 1.90m de profundidad

Nota. Se observa el comportamiento del horizonte con presencia de humedad en relación a su resistividad y espesor en la SECCION A-A SEV 01, 02 Y 03, lo cual no indica que en esta zona es posible proyectar el posible pozo tubular.

Tabla 16.

Sección geo eléctrica B-B.

SECCION B-B SEV 02 Y 04		
HORIZONTE	DESCRIPCION	
H-2	Este horizonte está presente en los SEV 02 y SEV 04, la cual tiene una resistividad de 13 a 28.9Ohm-m, espesor no determinado, constituido por material de origen aluvial; suelo gravoso con arenas y presencia de limos más arcillas.	En el SEV 02 se puede deducir que existe un horizonte con humedad a partir de 1.90m de profundidad
H-3	En este horizonte está presente en el SEV 02, la cual tiene una resistividad de 44.2Ohm-m, espesor de 1.90m, constituido por un material de origen aluvial; terraplén cultivable y fértil.	En el SEV 04, presenta horizonte con valores de humedad alta desde los 0.00m. de profundidad aumentando según vaya profundizando hasta saturarse
H-5	En este horizonte está presente en los SEV 02 y SEV 04, la cual tiene una resistividad de 64.6 a 141 Ohm-m, espesor de 4.4 a 9.3m aproximadamente, conformado por un material de origen aluvial; suelo arenoso con gravillas y escasos finos.	

Nota. Se observa el comportamiento del horizonte con presencia de humedad en relación a su resistividad y espesor en la SECCION B-B SEV 02 Y 04, lo cual nos indica que en esta zona es posible proyectar el posible pozo tubular.

Tabla 17.*Columna geoelectrica Puntual C*

COLUMNA C SEV 05		
HORIZONTE	DESCRIPCION	
H-1	El primer horizonte se encuentra en el SEV 01, Horizonte superficial (color café) de resistividad 21 ohm-m que interpreta a material con escasa cobertura de arena suelta y arcilla arenosa consolidado.	En el SEV 01, presenta horizonte si presencia de humanidad.
H-2	El segundo horizonte se encuentra en los SEV'S 01, Horizonte sub superficial (color naranja) de resistividad 7 ohm-m que refiere a material interestratificado de arcilla, limolita y lutita consolidados en estado seco de espesor 5.4 metros	En el SEV 01, presenta horizonte si presencia de humedad.
H-3	Se le encuentra en el SEV 02 y 03, Horizonte sub intermedia (color rojo) de resistividad 2 ohm-m que concierne a material interestratificado de arcilla, limo y lutita consolidados de estado seco, con espesor 12.3 metros	En el SEV 01, presenta horizonte si presencia de humedad.
H-4	Se encuentra en el SEV 03, Horizonte sub yacente (color morado) cuya resistividad 21 ohm-m se correlaciona a material interestratificado de arcilla y arena limosa, densa y litológicamente compactos de estado seco, presenta espesor no determinado que significa continuidad a más profundidad en el alcance de penetración del estudio	En el SEV 01, presenta horizonte si presencia de humedad.

Nota. Se observa el comportamiento del horizonte con presencia de humedad en relación a su resistividad y espesor en la COLUMNA C SEV 05, lo cual nos indica que en esta zona es no es posible proyectar el posible pozo tubular.

De acuerdo a los datos en las secciones A-A, y B-B y columna geoelectrica C, se puede indicar que se puede proyectar la ubicación del pozo tubular seria en el SEV-03, con un material aluvial saturado, suelo con gravillas y escasos finos.

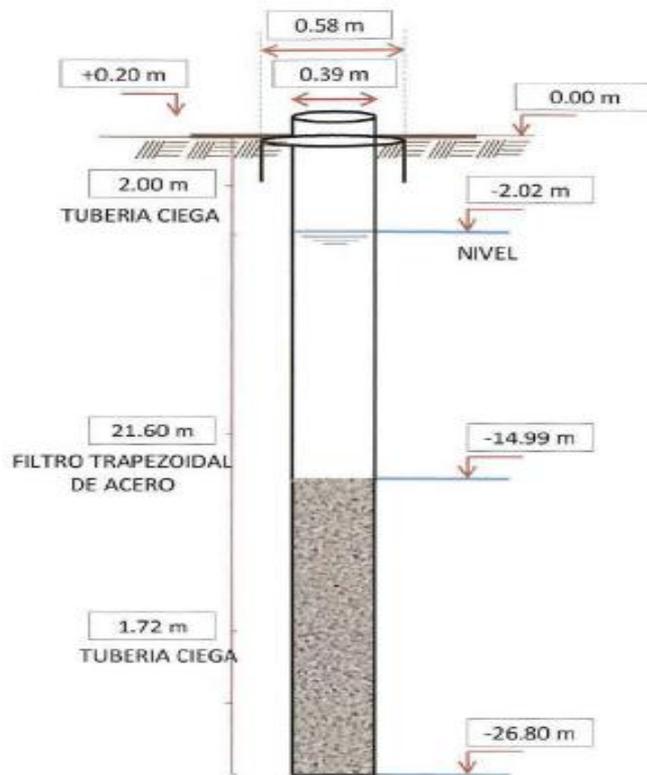
Tabla 18.*proyección del Posible pozo tubular*

Sector	COORDENADAS		PROFUNDIDAD
	ESTE	NORTE	
La Boya	8159193	746049	12

Nota. En el grafico se observa la proyección del pozo tubular en sel sector de La Boya en el sev-02, con una profundidad de 12m

Figura 21.

pozo tubular proyectado



Nota. En el grafico se observa la proyección del pozo tubular con una profundidad de 12m.

Soto (2013), su tesis de investigación, que realizó en el departamento de ingeniería de la UNSA en Arequipa, afirma que realizó tres secciones geoelectricas . Según un análisis de cada SEV, el nivel freático del tramo A'-A tiene entre 48 y 59 metros de profundidad, el nivel freático del tramo B'-B es entre 40 y 50 metros de profundidad, y el nivel freático de la sección C'-C oscila entre 40 y 59 metros. Estos resultados son muy diferentes de los resultados anteriores debido a la composición de diferentes áreas regionales y diferentes formaciones geológicas. En este proyecto de investigación se analizaron cuatro secciones geoelectricas en el SEV-5 con resistividades reales desde 10 ohm -

m hasta 15 ohm- m, interpretando la existencia de un reservorio acuífero y ubicado en el horizonte 5.

4.2.2 Resultados del cálculo de las reservas totales del acuífero

El espesor del acuífero se realiza en base a los horizontes de los SEV. 1,2, 3, 4 y 5.

- SEV 1: grosor del acuífero es 2.20 m.
- SEV 2: grosor del acuífero es 5.93 m.
- SEV 3: grosor del acuífero es 6.48 m.
- SEV 4: grosor del acuífero es 4.20m.
- SEV 5: no existe presencia de acuífero.

Asimismo, es importante tomar en cuenta la vulnerabilidad de los pozos construidos, ya que pueden existir, algunas Notas superficiales, como los sistemas de alcantarillado, que causan contaminación y contribuyen a aumentar la vulnerabilidad. Por lo que será necesario tener un mejor conocimiento de los procesos hidrogeológicos urbanos, como lo refiere (Afonso et al., 2016), inclusive la intrusión marina, debiendo hacer monitoreo.

4.2.3 Modelo conceptual

A partir de los datos inferidos de los sondajes eléctrico verticales y como también a partir de la observación en campo:

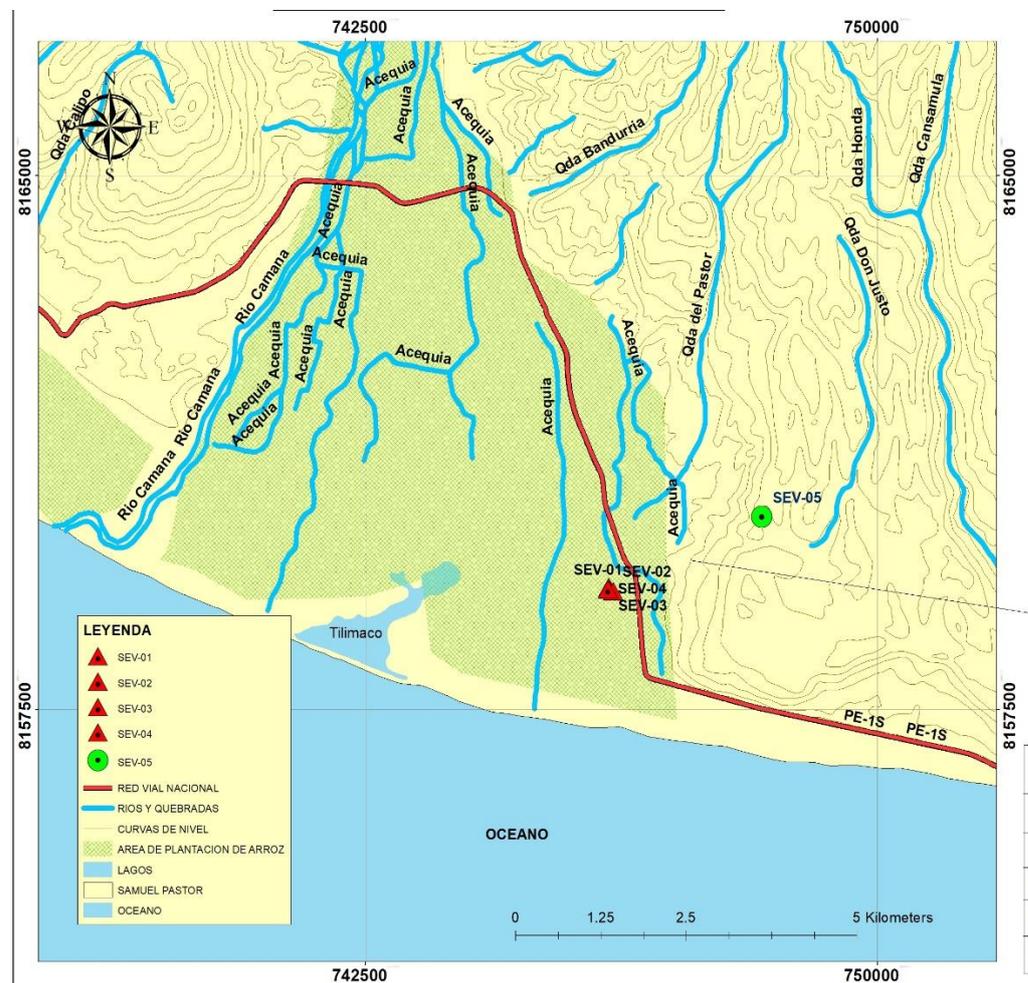
Se puede decir que en la zona del sector de La Boya se dedican a la plantación de arroz que viene y es captada del río Camana tal y como se observa

en la figura 22, con lo cual el riego por inundación se recarga cada año al acuífero por lo tanto podemos decir que existe una relación río acuífero.

En la zona de lomas grandes la zona que es una zona árida y desértica, lo zona es impermeable por lo cual no existe presencia de recurso hídrico, con la presente investigación se pretende ampliar la frontera agrícola bombeando agua desde el sector de La Boya hasta el sector lomas grandes.

Figura 22.

Topografía de la zona de recarga y la zona de los arrozales



Nota. Se observa la topografía de zona, así como las quebradas secas

Figura 23.

Demanda hídrica del cultivo propuesto

DEMANDA HIDRICA DE CULTIVO														
DESCRIPCION	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETP	mm/dia	5.00	4.93	4.35	3.49	2.59	2.10	2.10	2.54	3.07	3.62	4.39	4.79	
Kc		0.45	0.45	0.50	0.50	0.50	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	
Etc	mm/día	2.25	2.22	2.17	1.74	1.30	1.16	1.15	1.39	1.69	1.99	2.19	2.40	
Lamina de riego	mm/dia	2.25	2.22	2.17	1.74	1.30	1.16	1.15	1.39	1.69	1.99	2.19	2.40	
N° días por mes	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Eficiencia de riego	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
Lamina bruta de riego	mm/ha/dia	23.68	23.35	22.89	18.35	13.63	12.16	12.14	14.68	17.79	20.97	23.09	25.21	
Demanda bruta unitaria mensual	m3/ha/mes	734.21	653.68	709.47	550.53	422.63	364.74	376.32	455.05	533.79	650.16	692.63	781.58	
Area sembrada	ha	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	6924.79
Demanda mensual	m3	146,842	130,737	141,895	110,105	84,526	72,947	75,263	91,011	106,758	130,032	138,526	156,316	1,384,958

Nota. Se observa la figura de la demanda hídrica del cultivo propuesto como frutales y paltos.

Figura 24.

Oferta hídrica del acuífero

OFERTA HIDRICA DE CULTIVO														
DESCRIPCION	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Caudal	m3/s	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	
N° de días por mes	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Volumen mensual	m3	139,545	126,040	139,545	135,043	139,545	135,043	139,545	139,545	135,043	139,545	135,043	139,545	1,643,027

Nota. Se observa en la figura la oferta hídrica del acuífero.

Figura 25.

Balance hídrico

BALANCE HIDRICO														
DESCRIPCION	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
OFERTA DISPONIBLE 24 horas a 52.1 lps	m3	139,545	126,040	139,545	135,043	139,545	135,043	139,545	139,545	135,043	139,545	135,043	139,545	1,643,027
DEMANDA	m3	146,842	130,737	141,895	110,105	84,526	72,947	75,263	91,011	106,758	130,032	138,526	156,316	1,384,958
CAUDAL DE BOMBEO OPERACIÓN	m3/seg	0.0630	0.0620	0.0610	0.0490	0.0360	0.0320	0.0320	0.0390	0.0470	0.0560	0.0620	0.0670	
TIEMPO DE BOMBEO	hor	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	20.84	250
DISPONIBLE OPERACIÓN	m3	146,522	130,242	141,870	110,285	83,727	72,023	74,424	90,704	105,784	130,242	139,545	155,825	1,381,193
BALANCE HIDRICO	m3	-6,977	-4,202	-2,325	24,758	55,818	63,020	65,121	48,841	29,259	9,303	-4,502	-16,280	261,834

Nota. Se observa el balance hídrico entre la oferta y la demanda del cultivo propuesto como frutales y paltos.

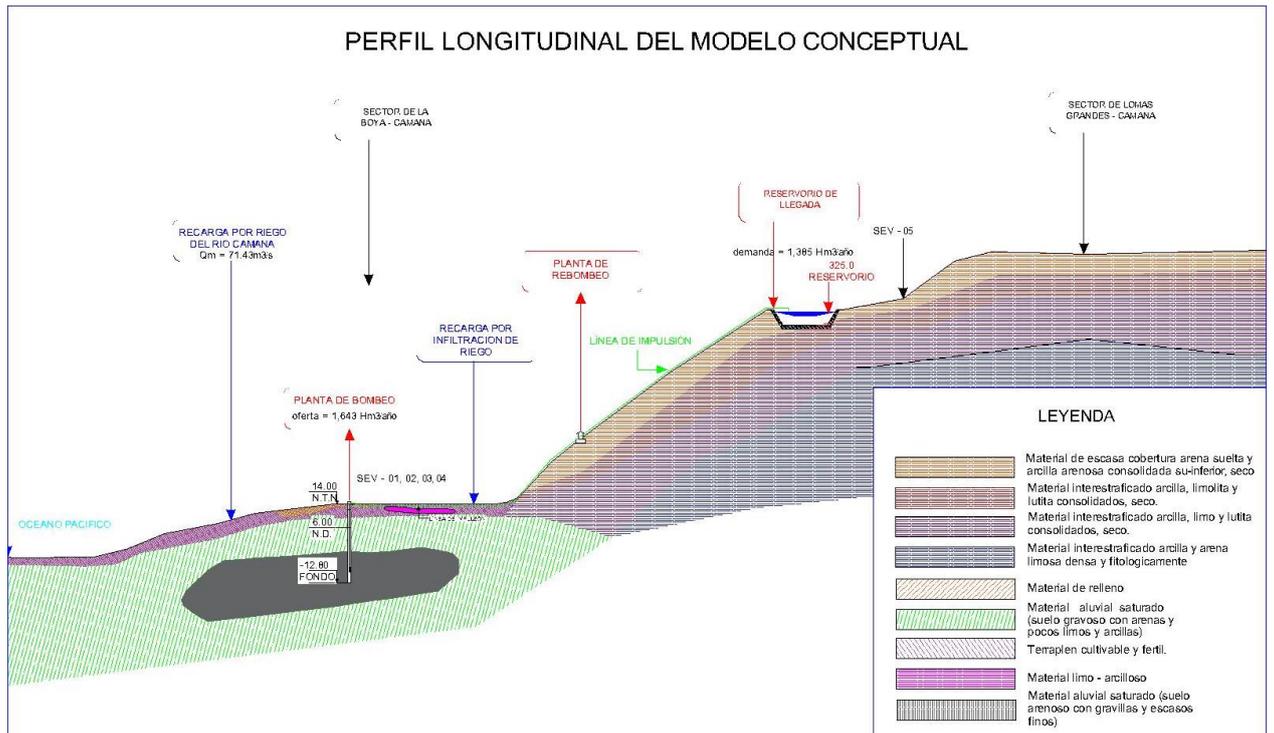
Por lo cual el balance hídrico que se tiene es de la siguiente manera.

ENTRADA : Infiltración de riego por inundación de los
arrozales – rio camana

SALIDA : bombeos

Figura 26.

Modelo conceptual del funcionamiento del acuífero



Nota. Se observa el modelo conceptual del funcionamiento del acuífero

V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados de los sondajes eléctricos verticales para los sectores de La Boya y lomas grandes se tuvieron que realizar 05 Sondajes eléctricos verticales (SEV), con profundidades de exploración de 50 a 80m. de los cuales se puede concluir que existe zonas saturadas; en el SEV 1 se pudo encontrar agua a una profundidad de 2.20m de profundidad teniendo una resistividad de 547ohm - m, en el SEV 2, se pudo encontrar agua a una profundidad de 1.90n teniendo una resistividad de 44.2 ohm - m, en el SEV 3 se pudo encontrar agua a una profundidad de 1.57m teniendo una resistividad de 40.2 ohm - m, en el SEV 4, se pudo encontrar agua a una profundidad de 4m teniendo una resistividad de 9.9ohm - m, en el SEV 5 no es posible encontrar agua teniendo una resistividad de 21ohm - m.
- En el área del sector de La Boya de Camaná se ha señalado la existencia de 5 horizontes: con características diferentes de resistividad y profundidad, Así el horizonte 1 en conformación por material de relleno semicompacto a compacto. El horizonte 2 conformado por limos arcillas y gravas con arenas con una buena permeabilidad. El horizonte conocido como horizonte 3 es un terraplén cultivable y fértil ; el horizonte conocido como horizonte 4 es un estrato o bolsa de material arcilloso con limos; y el horizonte conocido como horizonte 5 está compuesto por arenas más gravas y finos dispersos con altapermeabilidad.
- La ubicación del SEV-03 está ubicado cerca del punto de pozo existente, Se sugiere situar y proponer la perforación del pozo en el SEV-3, el cual tiene una resistividad de 7.2ohm-m y espesor de horizonte de 0.70m.

- La zona en estudio presenta condiciones apropiadas para la explotación de aguas subterráneas. Se puede encontrar aguas subterráneas en el sector de La Boya, así mismo no se puede encontrar aguas subterráneas en el sector de las Lomas Grandes de Camaná por lo que se recomienda realizar un sistema de bombeo para llevar agua a las partes altas de Camaná y así utilizar agua para riego tecnificado.
- En el área del sector de Lomas Grandes de Camaná no presenta permeabilidad por último en el SEV-5 de acuerdo a los horizontes H2 Y H3 son de baja resistividad 7ohm-m y 2 ohm-m, lo que significa que no hay infiltración no teniendo conexión con horizontes inferiores.

VI. RECOMENDACIONES

- Se puede encontrar aguas subterráneas en el sector de La Boya, así mismo no se puede encontrar aguas subterráneas en el sector de las Lomas Grandes de Camaná por lo que se recomienda realizar un sistema de bombeo para llevar agua a las partes altas de Camaná y así utilizar agua para riego tecnificado.
- Se recomienda el pozo SEV-03

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adagunodo, T.A., M.K. Akinloye, L.A. Sunmonu, A.P. Aizebeokhai, K.D. Oyeyemi and F.O. Abodunrin. 2018. Groundwater exploration in Aaba residential area of Akure, Nigeria. *Front. Earth Sci.*, 6: 66. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00066>
- Afonso, M. J., Freitas, L., Pereira, A., Neves, L., Guimarães, L., Guilhermino, L., Mayer, B., Rocha, F., Marques, J. M., & Chaminé, H. I. (2016). Environmental Groundwater Vulnerability Assessment in Urban Water Mines (Porto, NW Portugal). In *Water* (Vol. 8, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/w8110499>
- Ahmed, T. F., Afzal, M. A., Hashmi, H. N., Yousuf, H. M., Shah, S. S., & Khan, M. A. (2022). Electrical resistivity survey by schlumberger electrode configuration technique for ground water exploration in Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 35(3), 558-568. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2022/35.3.558.568>.
- Anomohanran, O. (2015). Hydrogeophysical investigation of aquifer properties and lithological strata in Abraka, Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 102, 247-253. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.10.006>.
- Babaiwa, D. A., Aigbogun, C. O., & Umoru, A. T. (2020). Aquifer characterization using vertical electrical sounding in Auchi polytechnic, Auchi, Edo State, Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 39(3), 925-931. <https://doi.org/10.4314/njt.v39i3.35>.
- Barrocu, G., & Eslamian, S. (2022). Geomorphology and Flooding. In *Flood Handbook* (pp. 23-54). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003262640>

- Bobachev, A. A., Modin, I. N., & Shevnin, V. A. (2000). Ipi2win Guía De Usuario. Universidad Estatal de Moscú. Facultad de Geología. Departamento de Geofísica. Moscú, Rusia.
- Bukola, O. O. (2017). Geo-electrical investigation of soil as foundation material in Ajayi Crowther University, Oyo, Oyo State, South Western Nigeria. *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*, 39, 471-478.
- Castillo Valencia, F. J. (2017). Estudio Geofísico para la Exploración de Agua 194 Subterránea en el Fundo Buselcat Asia - Cañete, Lima. Universidad Nacional de San 195 Agustín de Arequipa.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología Subterránea, Volumen 1. (Omega, 187 Ed.) (2a Edición). Barcelona. 188*
- De Almeida, A., Maciel, D. F., Sousa, K. F., Nascimento, C. T. C., & Koide, S. (2021). Vertical Electrical Sounding (VES) for Estimation of Hydraulic Parameters in the Porous Aquifer. *Water*, 13(2), 170. <https://doi.org/10.3390/w13020170>
- Ensisco, M. (2010). *Métodos Eléctricos, Prospección Eléctrica. San Francisco – Estados Unidos 183*
- Fetter, C. W. (2001) *Applied Hydrogeology. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.*
- Gómez, E., Broman, V., Dahlin, T., Barmen, G., & Rosberg, J. E. (2019). Quantitative estimations of aquifer properties from resistivity in the Bolivian highlands. *H2Open Journal*, 2(1), 113-124. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2019.007>

- Iserhien-Emekeme, R. E. (2014). Electrical resistivity survey for predicting aquifer at Onicha-Ugbo, Delta State, Nigeria. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, Vol.2 No.7. <https://doi.org/10.4236/jamp.2014.27060>
- Jat, M. L., Dagar, J. C., Sapkota, T. B., Govaerts, B., Ridaura, S. L., Saharawat, Y. S., ... & Stirling, C. (2016). Climate change and agriculture: adaptation strategies and mitigation opportunities for food security in South Asia and Latin America. *Advances in agronomy*, 137, 127-235. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.005>.
- Jiménez, (2008), Elaboración de un Plan de Explotación de Aguas Subterráneas en una Zona de Península de Santa Elena, Mediante la interpretación de Métodos resistivos.
- Keleko, T. D., Tadjou, J. M., Kamguia, J., Tabod, T. C., Feumoe, A. N., & Kenfack, J. V. (2013). Groundwater investigation using geoelectrical method: a case study of the western region of Cameroon. Vol. 5 No. 6, pp. 633-641. doi: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.56064>.
- Kirsch, R., & Yaramanci, U. (2009). Geoelectrical methods. In *Groundwater geophysics* (pp. 85-117). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88405-7_3
- Mamani-Ramos, A., Alfaro-Alejo, R., & Mamani-Gomez, J. (2019). Base flow estimation by water balance, groundwater numerical modelling and water table fluctuation method, case study Chumpe river sub-basin Yauli - Junin. 38th IAHR World Congress, 1857–1865. <https://doi.org/10.3850/38wc092019-0874>

- Mebrahtu, G., Atsbaha, S., & Berhe, B. A. (2021). Vertical Electrical Sounding (SEV) investigation for road failure along Mekelle–Abi-Adi road segment, northern Ethiopia. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 13(1), 134-146.
- Orellana, E. (1982). *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*. (T. Paraninf, Ed.) 180 (2a Edición). 181
- Pari, W. (2019). *Aplicación de la Resistividad para la Exploración de Aguas Subterráneas en la Microcuenca Yanamayo – Azángaro – Universidad Nacional del Altiplano*.
- Pérez García, N., Garnica Anguas, P., Delgado, V. H., & Landaverde, N. (2010). *Evaluación de la Resistividad en Campo y en Laboratorio y su Aplicación a 115*. 190
- Ponce, V. M. (2007). *Sustainable yield of groundwater*. California Department of Water Resources.
- Ponce, V. M. (2014). *Effect of groundwater pumping on the health of arid vegetative ecosystems*. Online report, December.
- Porres Benito, J. Á. (2003). *Caracterización de Cavidades en el Subsuelo Mediante la Interpretación de Perfiles de Tomografía Eléctrica, Aplicación al Yacimiento Arqueológico de Clunia*. Universidad de Burgos. 184 185 186
- Porres Benito, J. Á. (2003). *Caracterización de Cavidades en el Subsuelo Mediante la Interpretación de Perfiles de Tomografía Eléctrica, Aplicación al Yacimiento Arqueológico de Clunia*. Universidad de Burgos. 191 192 193
- Pure, N. J. (2019) *Characterization of Aquifer wide hydraulic properties of the Miocene–Recent sediments of the Niger Delta from Transverse Resistance*.

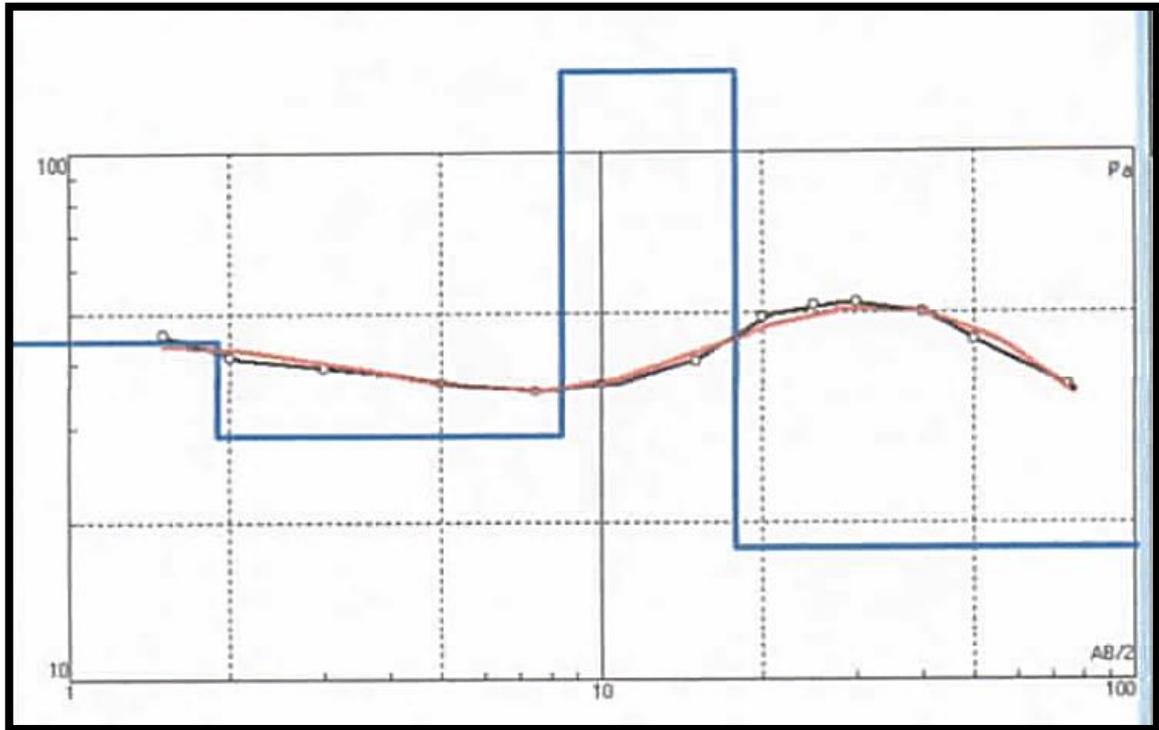
- Ramírez, (2017), Evaluación por Métodos no convencionales de caracterización de 175
suelos del Distrito de Morales, provincia de San Martín - Región de San Martín
176
- Rahajoeningroem, T. and B. Indrajana. 2020. Groundwater potential investigation using
geoelectric method with schlumberger electrode configuration in Catur Rahayu
Village, Dendang District, Tanjung Jabung Timur Regency, Jambi Province. IOP
Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., IOP Publ., 879(1):
012115. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/879/1/012115>
- Silva, (2019), investigación hidrogeológica para el aprovechamiento de agua 166
subterránea en el predio inkaterra, distrito de el alto, provincia de talara y
departamento 167 de Piura 168
- Sethi, R., Di Molfetta, A. (2019). Basic Concepts. In: Groundwater Engineering .
Springer Tracts in Civil Engineering . Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-20516-4_1.
- Tamuno, W., & Inichinbia, S. (2019). Vertical Electric Sounding of Leachate
Contaminant Plumes at a Dumpsite in Obigbo, Rivers State, Nigeria. Journal of
Applied Sciences and Environmental Management, 23(12), 2245-2249.
- Talabi, A.O., O.F. Ojo, L.O. Afolagboye, C.A. Ajayi and Y.C. Ajisafe. 2016. Electrical
resistivity prospecting for groundwater in the south eastern part of Ilorin
Metropolis, Southwestern Nigeria. J. Hydrol. Environ. Res., 4(1).
- Tizro, A. T., Voudouris, K. S., Salehzade, M. & Mashayekhi, H. (2010) Hydrogeological
framework and estimation of aquifer hydraulic parameters using geoeléctrical

data: a case study from West Iran. *Hydrogeol. J.* 18, 917–929.
<https://doi.org/10.1007/s10040-010-0580-6>.

Villalobos-Aragón, A., Espejel-García, V.V., Espejel-García, D. and Rivas-Lobera, L.
(2019) Shallow Subsurface Stratigraphy Inferred from the Use of Vertical
Electrical Soundings (SEV) Survey in Central Chihuahua, Mexico. *Open Journal
of Geology*, 9, 15-28. <https://doi.org/10.4236/ojg.2019.91002>

Anexo 2. Imágenes de Curva Procesada SEV - 02

SEV - 02



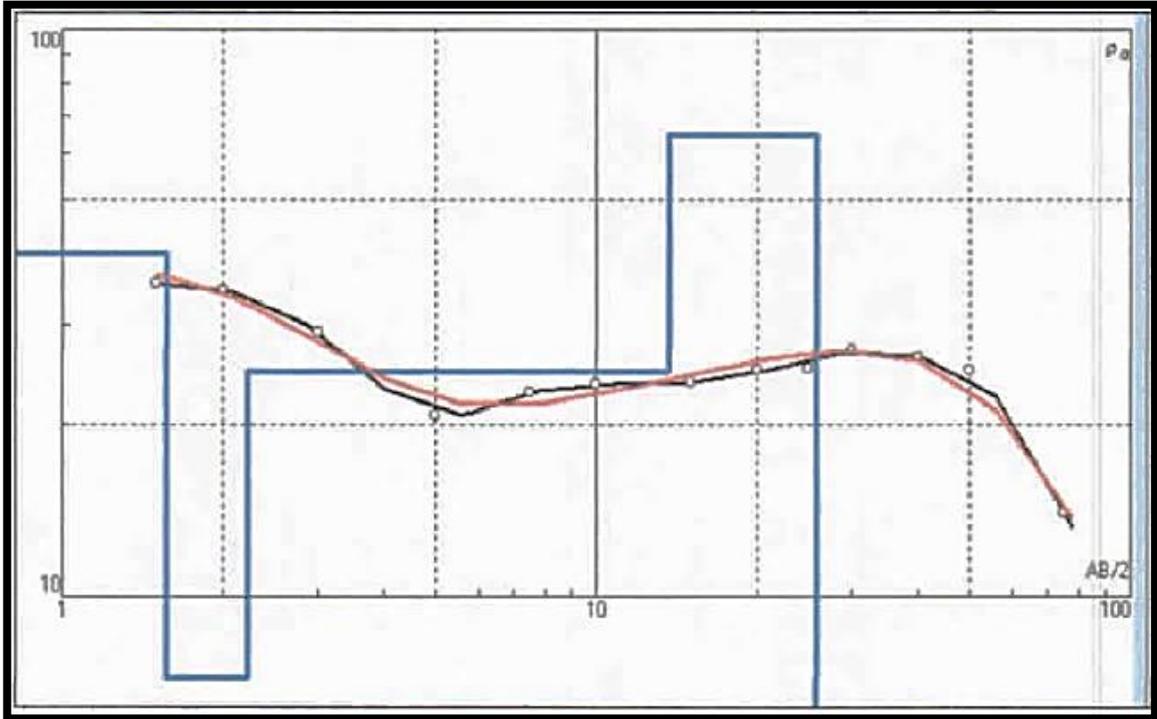
Error = 2.97%

N	p	h	d
1	44.2	1.9	1.9
2	28.9	6.54	8.45
3	141	9.35	17.8
4	18		

DONDE: ρ = Resistividad, h= espesor, d= profundidad

Anexo 3. Imágenes de Curva Procesada SEV - 02

SEV - 03



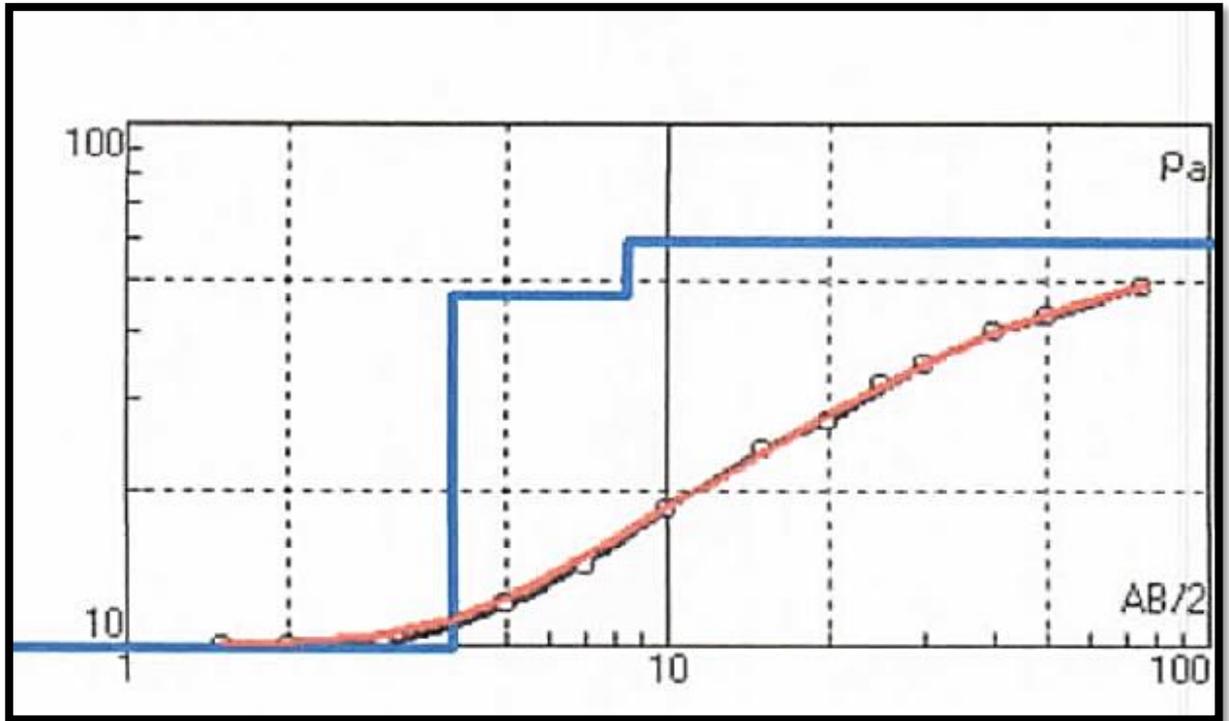
Error = 3.87%

N	p	h	d	Alt
1	40.2	1.57	1.57	-1.569
2	7.22	0.666	2.23	-2.235
3	24.8	11.4	13.7	-13.68
4	64.6	12.3	25.9	-25.94

DONDE: ρ = Resistividad, h= espesor, d= profundidad

Anexo 4. Imágenes de Curva Procesada SEV – 04

SEV - 04

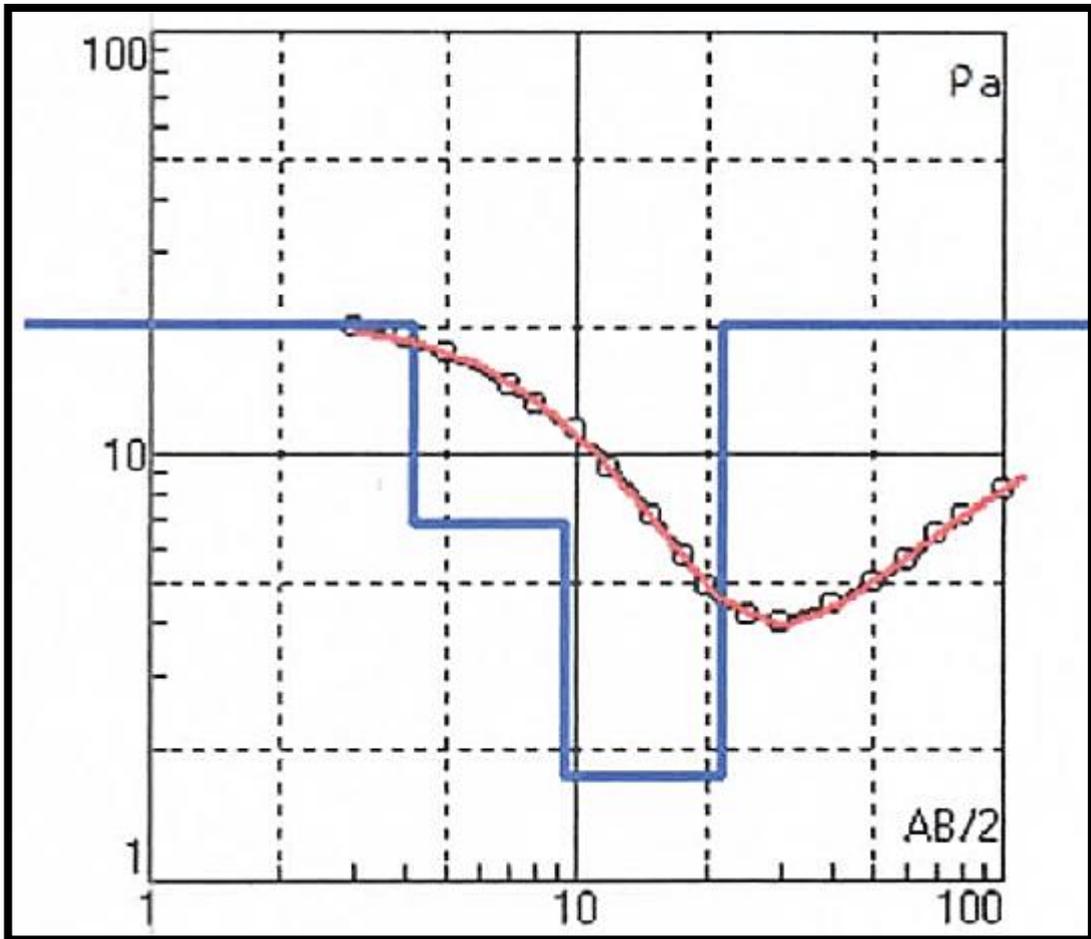


N	p	h	d	Alt
1	40.2	1.57	1.57	-1.569
2	7.22	0.666	2.23	-2.235
3	24.8	11.4	13.7	-13.68
4	64.6	12.3	25.9	-25.94

DONDE: ρ = Resistividad, h= espesor, d= profundidad

Anexo 5. Imágenes de Curva Procesada SEV - 05

SEV - 05



N	ρ	h	d	Alt
1	20.52	4.133	4.133	-4.132
2	6.769	5.354	9.487	-9.487
3	1.744	12.29	21.78	-21.78
4	20.58			

DONDE: ρ = Resistividad, h= espesor, d= profundidad

Anexo 6. Data del SEV – 01

SEV-01		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (ohm-m)
1.5	0.5	496
2	0.5	486
3	0.5	412
3	1.5	405
5	1.5	259
7.5	1.5	128
10	1.5	60.6
10	5	61.9
15	5	43.6
20	5	42.1
25	5	42.6
30	5	41.2
30	15	40
40	15	37.6
50	15	35.1
75	15	30.8

Anexo 7. Data del SEV – 02

SEV-02		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (ohm-m)
1.5	0.5	47.4
2	0.5	42.9
3	0.5	40.8
3	1.5	44.8
5	1.5	42
7.5	1.5	40.2
10	1.5	41.6
10	5	37.4
15	5	41.5
20	5	50.1
25	5	52.8
30	5	53.7
30	15	52.3
40	15	50.1
50	15	44.3
75	15	36.1

Anexo 8. Data del SEV – 03

SEV-03		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (ohm-m)
1.5	0.5	37.8
2	0.5	36.8
3	0.5	31.2
3	1.5	29.3
5	1.5	20.7
7.5	1.5	22.7
10	1.5	23.6
10	5	23.2
15	5	23.4
20	5	24.5
25	5	24.7
30	5	26.7
30	15	33.5
40	15	32.4
50	15	30.8
75	15	17.3

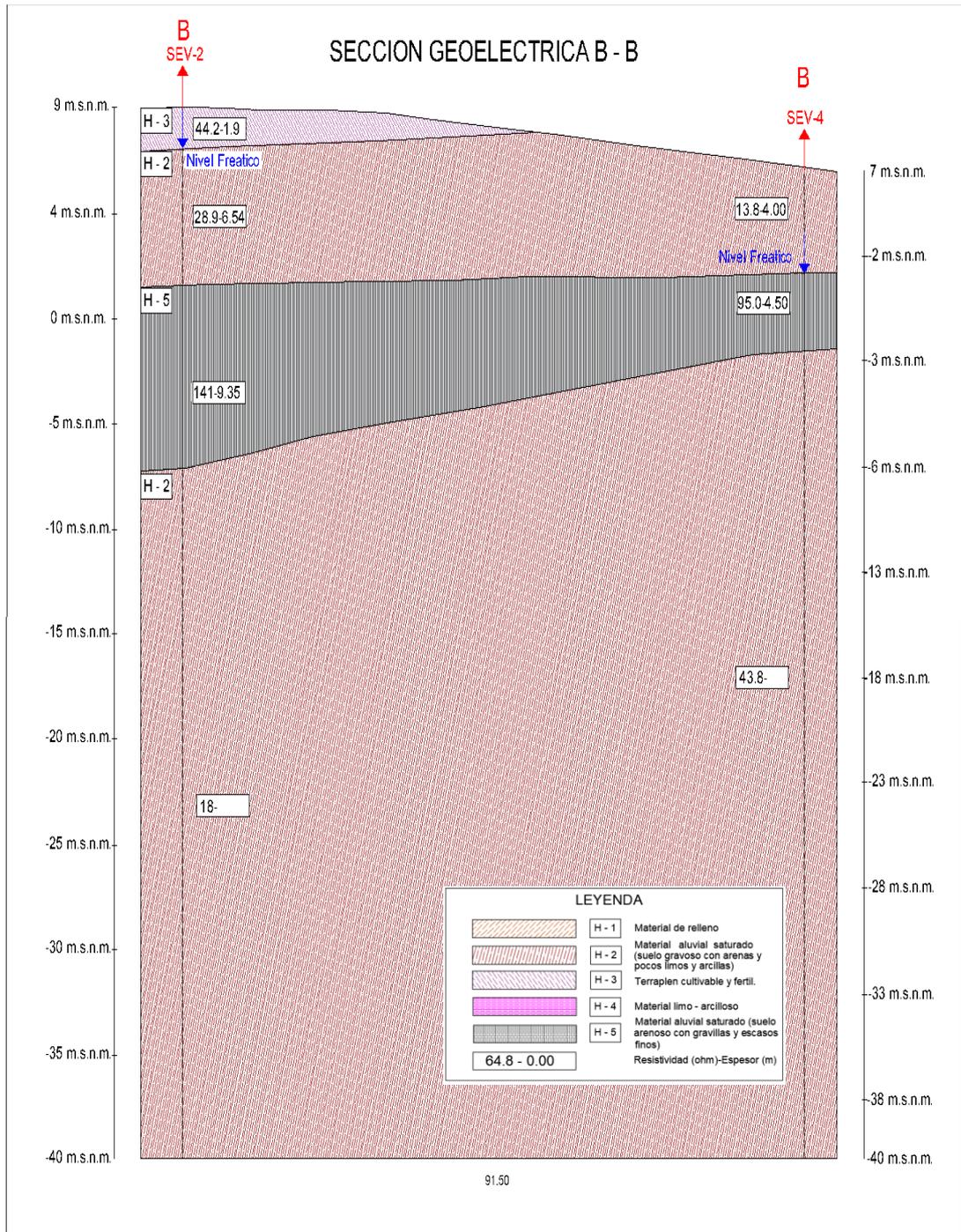
Anexo 9. Data del SEV – 04

SEV-04		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (ohm-m)
1.5	0.5	8.94
2	0.5	9.65
3	0.5	9.64
3	1.5	11.9
5	1.5	13
7.5	1.5	15.8
10	1.5	19.2
10	5	18.2
15	5	23.6
20	5	27.7
25	5	31
30	5	33
30	15	31.6
40	15	36
50	15	38.2
75	15	39.6

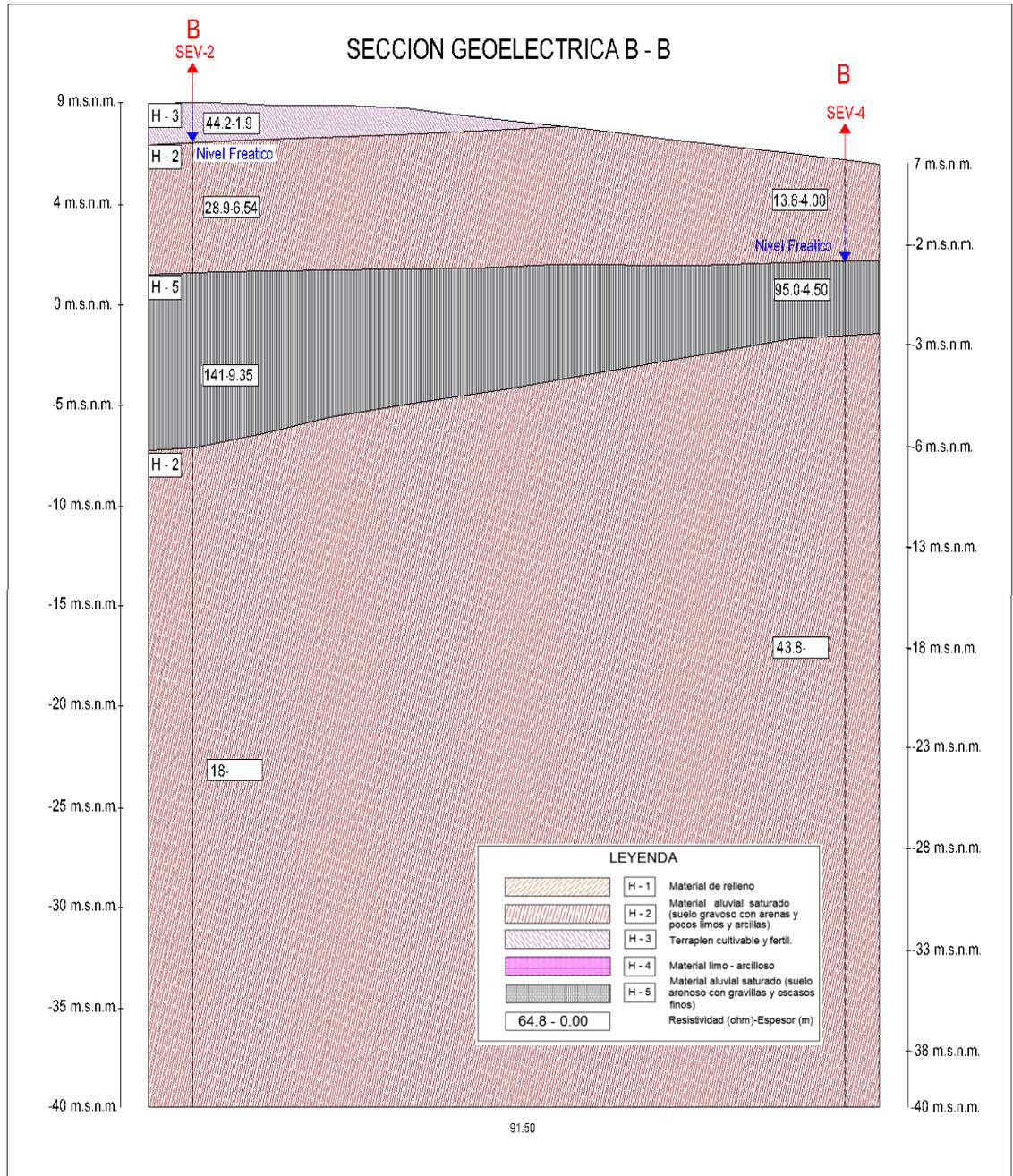
Anexo 10. Data del SEV – 05

SEV-04		
AB/2	MN	RESISTIVIDAD (ohm-m)
1.5	0.5	8.94
2	0.5	9.65
3	0.5	9.64
3	1.5	11.9
5	1.5	13
7.5	1.5	15.8
10	1.5	19.2
10	5	18.2
15	5	23.6
20	5	27.7
25	5	31
30	5	33
30	15	31.6
40	15	36
50	15	38.2
75	15	39.6

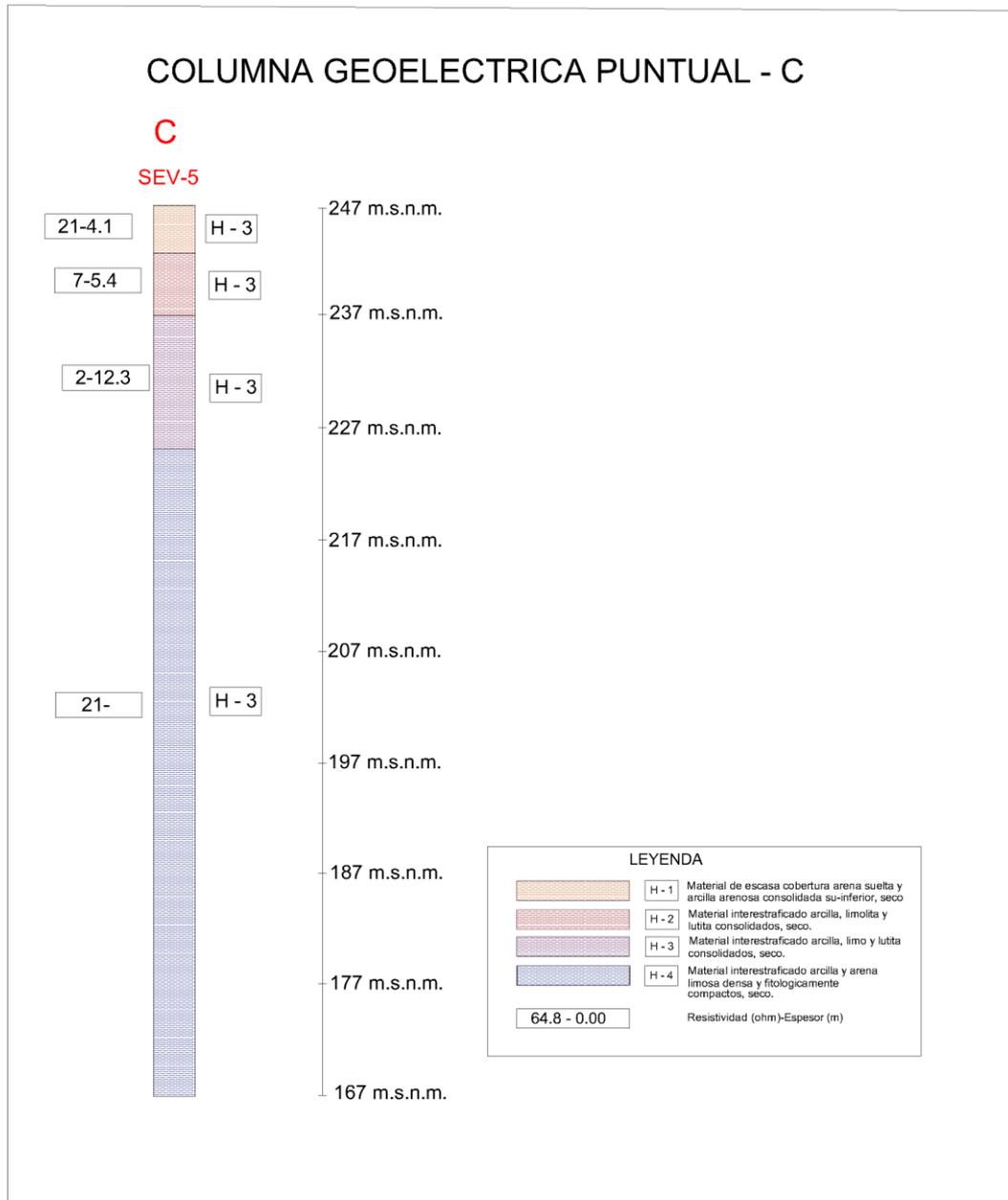
Anexo II. Sección Geoeléctrica B-B



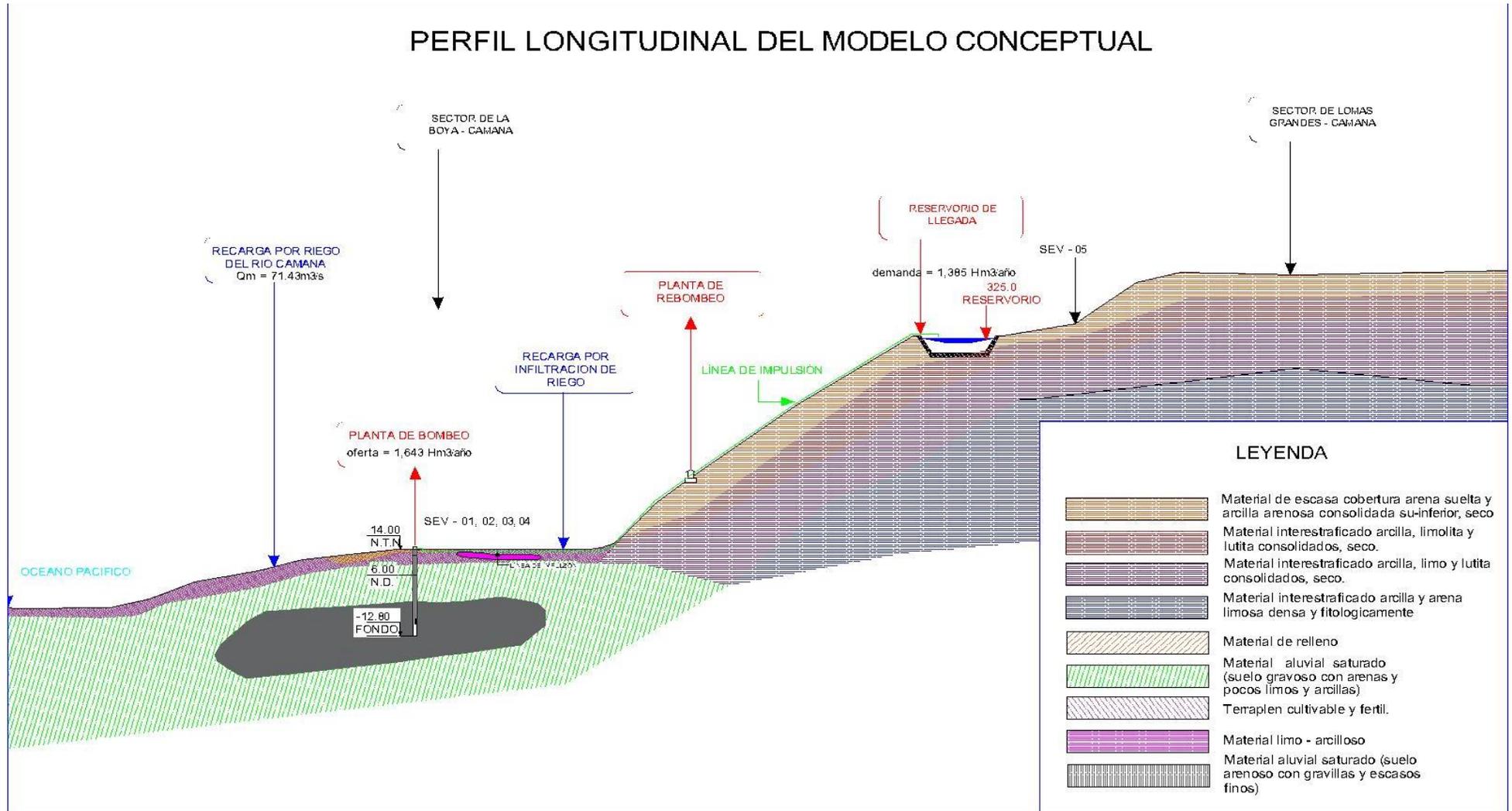
Anexo 12. Sección Geoelectrica B-B



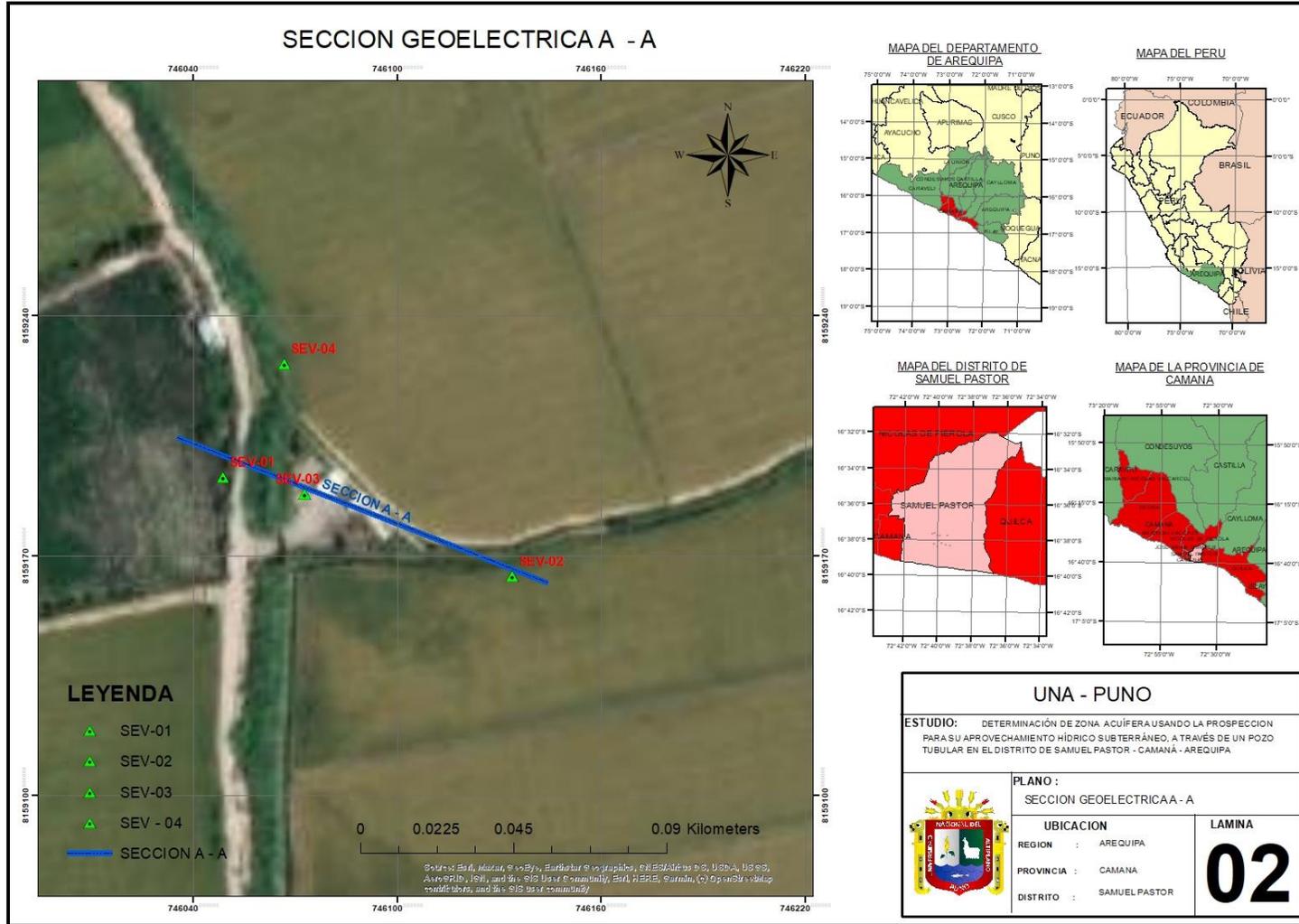
Anexo 13. Columna Geoelectrica C



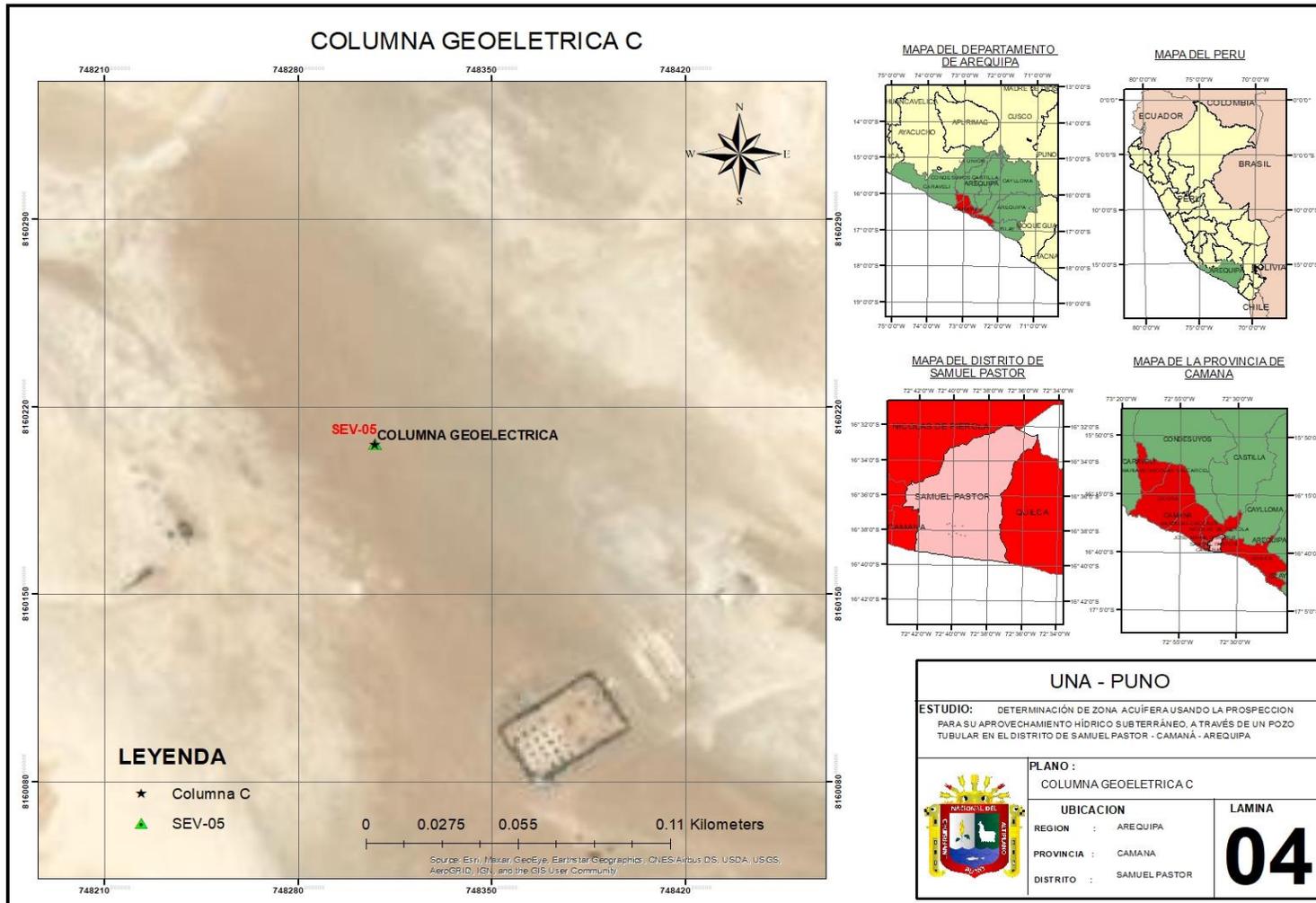
Anexo 14. Perfil Longitudinal del Modelo Conceptual



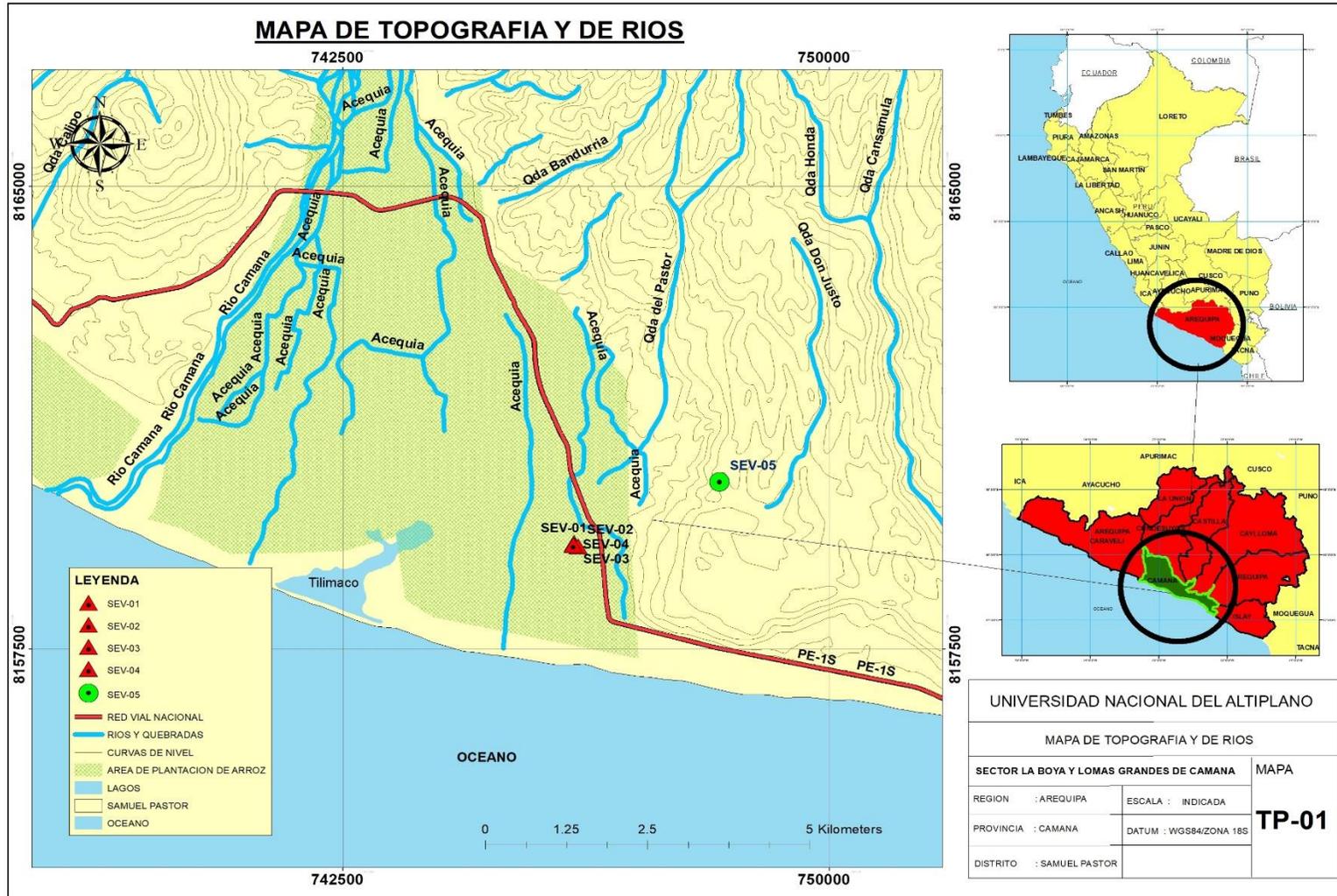
Anexo 16. Plano de sección geo eléctrica A - A



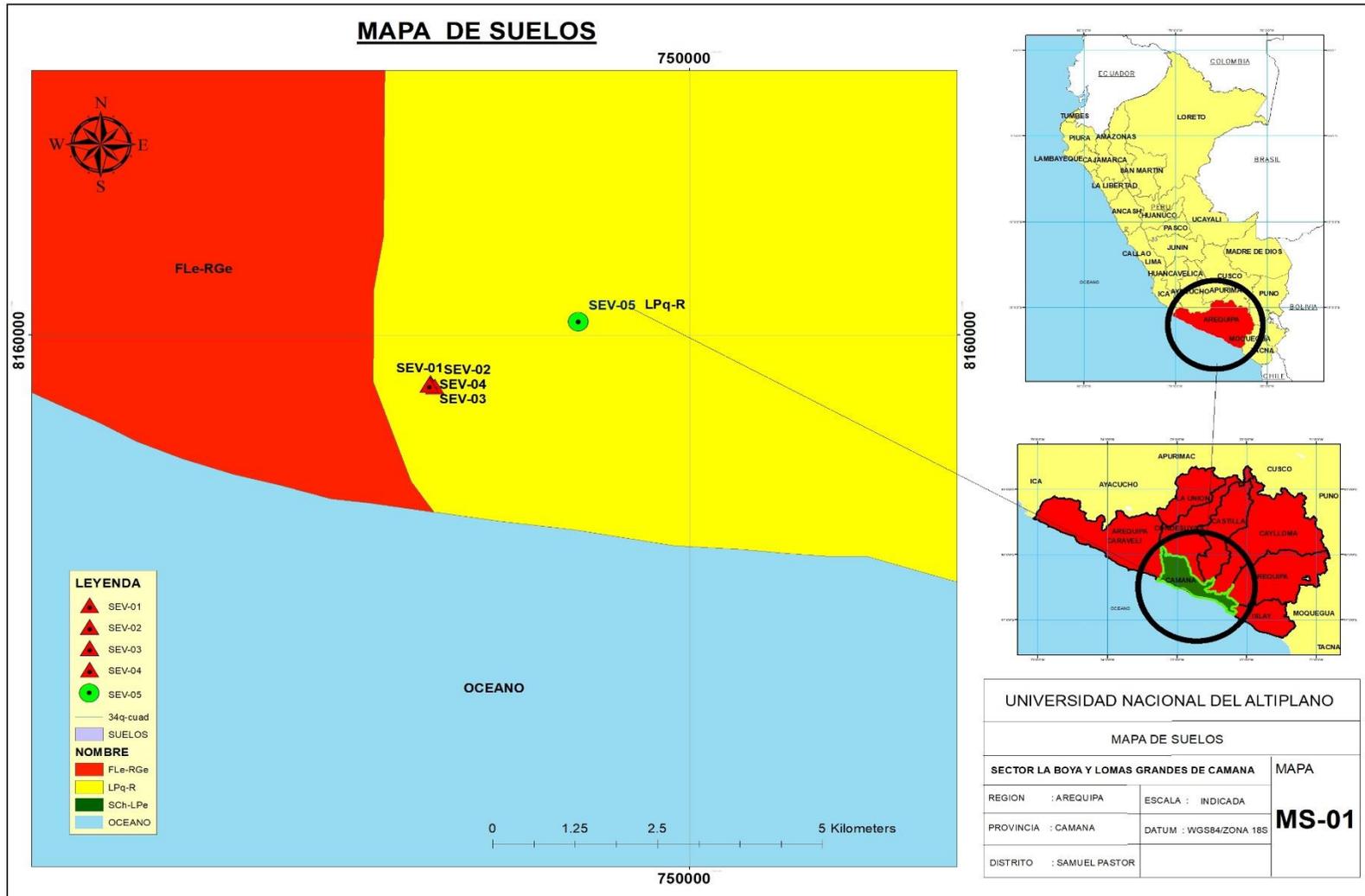
Anexo 18. Plano de Columna geoelectrica C



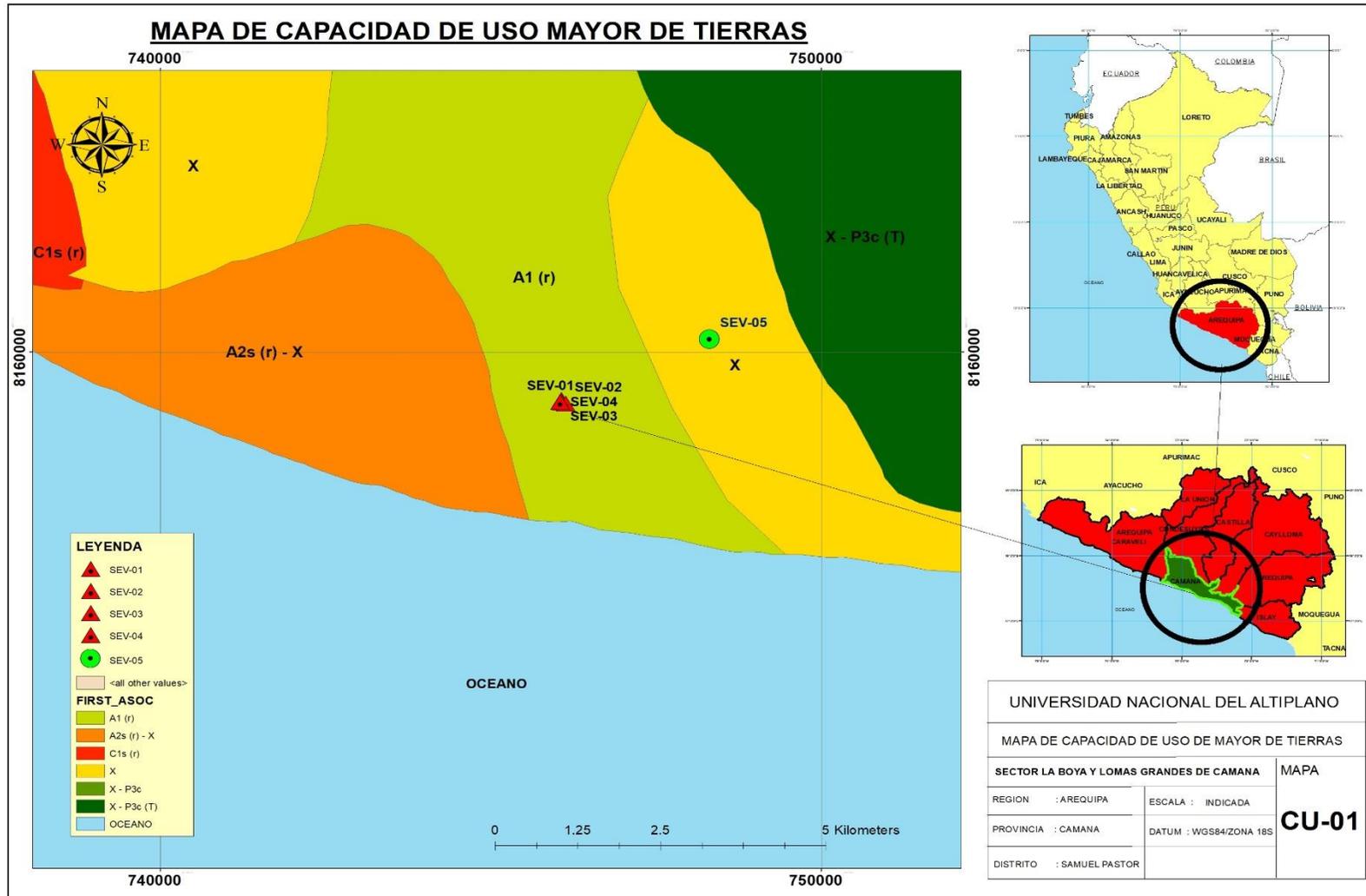
Anexo 19. Plano Topográfico



Anexo 22. Plano de suelos



Anexo 23. Plano de capacidad de uso mayor de tierras



Anexo 24. Fotografía de ubicación de pozo de agua (inventario de Notas de agua)



Anexo 25. Fotografía de ubicación del SEV-02, en el sector La Boya



Anexo 26. Fotografía de ubicación del SEV-02, en el sector las lomas



Anexo 27. Fotografía de ubicación de pozo de agua (inventario de Notas de agua)



Anexo 28. Fotografía de ubicación de pozo de agua (inventario de Notas de agua)

