



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

Título:

**Estudio hidrogeológico del sector de San Andrés mediante tomografías
eléctricas de resistividad**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Ambiental

Autor:

Remache Fernández, Paola Alejandra

Tutor:

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

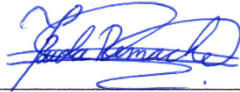
Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Paola Alejandra Remache Fernández**, con cédula de ciudadanía **065017812-2**, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: **Estudio hidrogeológico del sector de San Andrés mediante tomografías eléctricas de resistividad**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 10 de noviembre de 2023



Paola Alejandra Remache Fernández
C.I. 065017812-2

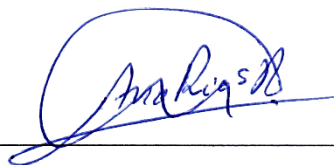
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado del trabajo de investigación **Estudio hidrogeológico del sector de San Andrés mediante tomografías eléctricas de resistividad**, presentado por **Paola Alejandra Remache Fernández**, con cédula de identidad número **065017812-2**, emitimos el DICTAMEN FAVORABLE, conducente a la APROBACIÓN de la titulación. Certificamos haber revisado y evaluado el trabajo de investigación y cumplida la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 10 días del mes de noviembre de 2023.

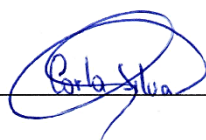
Anita Ríos, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Carla Silva, Mgs.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Benito Mendoza, PhD.

TUTOR

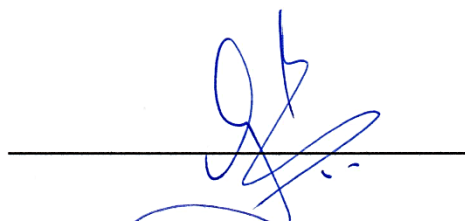


CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

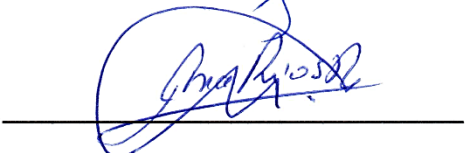
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Estudio hidrogeológico del sector de San Andrés mediante tomografías eléctricas de resistividad**, presentado por **Paola Alejandra Remache Fernández**, con cédula de identidad número **065017812-2**, bajo la tutoría de PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 10 días del mes de noviembre de 2023.

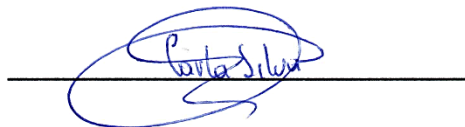
Presidente del Tribunal de Grado
Mgs. Patricio Santillán



Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Anita Ríos



Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Carla Silva





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **REMACHE FERNÁNDEZ PAOLA ALEJANDRA** con CC: **065017812-2**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR DE SAN ANDRÉS MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD**", cumple con el 6%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 14 de noviembre de 2023



Firmado electrónicamente por:
**BENITO GUILLERMO
MENDOZA TRUJILLO**

PhD. Benito Mendoza
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

El trabajo investigativo que a continuación se va a presentar lo quiero dedicar en primer lugar a Dios, por ser mi guía, inspiración y fuerza para continuar este proceso de obtener una de mis metas más anheladas durante mucho tiempo.

A mis padres por su sacrificio, constancia y apoyo que día a día me han ido brindando en todo este tiempo, junto a ellos he logrado llegar hasta esta etapa de mi vida y convertirme en lo que soy, por ello es para mí un orgullo ser su hija.

A mi esposo y a mis hijos quienes han sido mi apoyo y mi inspiración para salir adelante y alcanzar mis metas, ellos son mi nueva familia por quienes me he convertido en ingeniera.

A mi hermano por su acompañamiento y apoyo moral, por ser partes de mi vida y por todo lo que ha aportado en ella.

A mi familia en general que me ha ido apoyando a lo largo de mi carrera que han dado aliento para seguir en el proceso y convertirme en Ingeniera.

A mi tutor PhD. Benito Mendoza por ser mi guía y consejero en el presente trabajo investigativo, por sus aportes y conocimientos que hicieron posible la solvencia en este presente trabajo.

A mis docentes y técnicos de laboratorio de esta prestigiosa entidad educativa que me han permitido que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que compartieron sus conocimientos.

Finalmente, a todos mis amigos que en el trayecto me acompañaron en mi vida universitaria donde compartimos muchas experiencias académicas como sociales.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincera gratitud hacia Dios por bendecir mi vida y ser mi guía a lo largo de mi existencia, el mayor apoyo y fortaleza para aquellos momentos difíciles y de debilidad.

De igual forma agradecemos a mis padres: Reinaldo y Yolanda, por ser los principales promotores de mis anhelos, por siempre confiar y creer en mis expectativas, por sus valiosos consejos, valores y principios que me han inculcado durante todo este tiempo.

Le agradezco a mi esposo y a mi hermano por su colaboración y acompañamiento en las salidas a campo de este trabajo de investigación, ya que sin ellos no lo hubiese logrado y también, por su apoyo en todo este tiempo académico.

Le agradezco a los Técnicos de los laboratorios de ciencias ambientales quienes nos prestaron las instalaciones al igual que los equipos y nos guiaron para poder realizar nuestra investigación de manera correcta.

Agradezco a mis docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Chimborazo, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión y de manera especial a la PhD. Benito Mendoza tutor de mi proyecto de investigación quien me ha guiado con su paciencia, su rectitud como docente y por haber compartidos sus conocimientos en campo.

ÍNDICE GENERAL;

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
I. INTRODUCCION	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Planteamiento del Problema	16
1.3 Justificación	17
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo General	17
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	17
II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Agua Subterránea.....	18
2.2 Acuífero	18
2.3 Tipos de acuíferos	18
2.3.1 Acuíferos libres	18
2.3.2 Acuíferos confinados.....	18
2.3.3 Acuíferos semiconfinados	19
2.4 Usos de aguas subterráneas:.....	19
2.5 Estratigrafía:.....	19
2.6 Tomografías Eléctricas:	20
2.6.1 Ejecución del trabajo de campo:	20
2.6.2 Procesamiento de datos:	21
2.6.3 Interpretación física de los resultados obtenidos:	21
2.7 Software Res2dinv:.....	21
2.8 Software Voxler 4:.....	21
2.9 Potencial Hidrogeológico:	22

III. METODOLOGIA.....	23
3.1 Tipo de Investigación.....	23
3.2 Caracterización de la Zona de Estudio.....	23
3.3 Definición de puntos de monitoreo.....	23
3.4 Configuración del Equipo SYSCAL en campo y adquisición de datos.....	23
3.5 Procesamiento de Datos (Modelamiento 2D).....	23
3.6 Modelamiento en tres dimensiones (3D).....	24
3.7 Potencial hidrogeológico y proponer medida de conservación de aguas subterráneas.....	24
3.8 Definición de muestra poblacional.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1 Descripción del Área de Estudio.....	25
4.2 Descripción Geológica del Área de Estudio.....	25
4.2.1 Geología Regional.....	25
4.2.2 Geología Local.....	25
4.3 Resultados de tomografías eléctricas.....	26
4.3.1 Análisis e Interpretación de la primera tomografía eléctrica.....	27
4.3.2 Análisis e Interpretación de la segunda tomografía eléctrica.....	27
4.3.3 Análisis e Interpretación de la tercera tomografía eléctrica.....	28
4.3.4 Análisis e Interpretación de la cuarta tomografía eléctrica.....	28
4.3.5 Análisis e Interpretación de la quinta tomografía eléctrica.....	29
4.3.6 Análisis e Interpretación de la sexta tomografía eléctrica.....	29
4.3.7 Análisis e Interpretación de la séptima tomografía eléctrica.....	30
4.3.8 Análisis e Interpretación de la octava tomografía eléctrica.....	30
4.3.9 Análisis e Interpretación de la novena tomografía eléctrica.....	31
4.3.10 Análisis e Interpretación de la décima tomografía eléctrica.....	31
4.3.11 Análisis e Interpretación de la décima primera tomografía eléctrica.....	31

4.3.12	Análisis e Interpretación de la décima segunda tomografía eléctrica.	32
4.3.13	Análisis e Interpretación de la décima tercera tomografía eléctrica.....	32
4.3.14	Análisis e Interpretación de la décima cuarta tomografía eléctrica.....	33
4.3.15	Análisis e Interpretación de la décima quinta tomografía eléctrica.....	33
4.3.16	Análisis e Interpretación de la décima sexta tomografía eléctrica	34
4.3.17	Análisis e Interpretación de la décima séptima tomografía eléctrica	34
4.3.18	Análisis e Interpretación de la décima octava tomografía eléctrica	35
4.3.19	Análisis e Interpretación de la décima novena tomografía eléctrica	35
4.3.20	Análisis e Interpretación de la vigésima tomografía eléctrica.....	36
4.3.21	Análisis e Interpretación de la vigésima primera tomografía eléctrica	36
4.3.22	Análisis e Interpretación de la vigésima segunda tomografía eléctrica.....	36
4.3.23	Análisis e Interpretación de la vigésima tercera tomografía eléctrica.....	37
4.3.24	Análisis e Interpretación de la vigésima cuarta tomografía eléctrica	37
4.3.25	Análisis e Interpretación de la vigésima quinta tomografía eléctrica.....	38
4.4	Análisis e interpretación de Estratigrafía 3D	38
4.5	Potencial hidrogeológico	40
4.5.1	Resultados de la encuesta aplicada.....	40
4.6	Medidas de Conservación de las Aguas Subterráneas.....	44
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		46
5.1	Conclusiones	46
5.2	Recomendaciones	46
BIBLIOGRAFÍA		48
ANEXOS		51
Anexo 1. Tomografías eléctricas de resistividad		51
Anexo 2. Encuestas		63
Anexo 3. Tabulaciones		64

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Resistividad Eléctrica	27
Tabla 2 Análisis e Interpretación de las encuestas aplicadas.	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tipos de acuíferos	19
Ilustración 2 Perfil de tomografía eléctrica realizada	20
Ilustración 3 Mapa de ubicación del área de estudio	25
Ilustración 4 Mapa de ubicación de las tomografías eléctricas.....	26
Ilustración 5 Primera tomografía eléctrica de resistividad.....	27
Ilustración 6 segunda tomografía eléctrica de resistividad	28
Ilustración 7 Tercera tomografía eléctrica	28
Ilustración 8 Cuarta tomografía eléctrica de resistividad.....	29
Ilustración 9 Quinta tomografía eléctrica.....	29
Ilustración 10 Sexta tomografía eléctrica.....	29
Ilustración 11 Séptima tomografía eléctrica	30
Ilustración 12 Octava tomografía eléctrica	30
Ilustración 13 Novena tomografía eléctrica.	31
Ilustración 14 Decima tomografía eléctrica de resistividad.....	31
Ilustración 15 Décima primera tomografía eléctrica.....	32
Ilustración 16 Décima segunda tomografía eléctrica	32
Ilustración 17 Décima tercera tomografía eléctrica	33
Ilustración 18 Décima cuarta tomografía eléctrica	33
Ilustración 19 Décima quinta tomografía eléctrica	34
Ilustración 20 Décima sexta tomografía eléctrica.....	34
Ilustración 21 Décima séptima tomografía eléctrica.....	34
Ilustración 22 Décima octava tomografía eléctrica.....	35
Ilustración 23 Décima novena tomografía eléctrica	35
Ilustración 24 Vigésima tomografía eléctrica	36
Ilustración 25 Vigésima primera tomografía eléctrica.....	36
Ilustración 26 Vigésima segunda tomografía eléctrica	37
Ilustración 27 Vigésima tercera tomografía eléctrica	37
Ilustración 28 Vigésima cuarta tomografía eléctrica	38
Ilustración 29 Vigésima quinta tomografía eléctrica	38
Ilustración 30 Modelamiento en tres dimensiones 3D zona completa del estudio	39
Ilustración 31 Vista frontal de la Modelación tres dimensiones 3D corteza del estudio ...	39
Ilustración 32 Modelamiento en tres dimensiones 3D vista lateral	40

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en el sector de la parroquia San Andrés, perteneciente al cantón Guano, donde se realizó estudios estratigráficos e hidrogeológicos del subsuelo para su posterior modelación matemática en dos dimensiones (2D) con el software Res2Dinv y tres dimensiones (3D) con Voxler 4, determinando el área del acuífero con fines de conservación de las aguas subterráneas.

Para la aplicación de los métodos geofísicos e hidrogeológicos se realizó las tomografías eléctricas considerando el terreno sin relieves pronunciadas y ausencia de construcciones, se utilizó GPS para determinar la ubicación geográfica de los electrodos del equipo SYSCAL separados a una distancia de 5m en línea recta, realizando veinticinco tomografías.

En la realización del modelo en dos dimensiones (2D) las tomografías presentaron rangos de resistividad desde 5.43 hasta 3752 Ohm*m, representando las resistividades más bajas zonas permeables y las resistividades más altas suelos impermeables, arenas, rocas, etc.

La generación de las imágenes en 2D y 3D nos permitió identificar e interpretar que en la zona de estudio escogida se localiza un acuífero semiconfinado, que se encuentra a una profundidad aproximada de 40 a 60 metros, el mismo está rodeado de material litológico semipermeable, determinando así el potencial hidrogeológico, en base a lo anterior se propuso como medida de conservación para las aguas subterráneas del sector la implementación de barreras ecológicas que impidan accesibilidad a las mismas, utilizando flora nativa o presente en estas áreas.

Palabras claves: San Andrés, tomografías eléctricas, agua subterránea, potencial hidrológico, conservación.

ABSTRACT

The research work was carried out in the sector of the San Andres parish, belonging to Guano canton, where stratigraphic and hydrogeological studies of the subsoil were carried out for subsequent mathematical modeling in two dimensions (2D) with Res2Dinv software and three dimensions (3D) with Voxler 4, determining the area of the aquifer for groundwater conservation purposes.

For the application of the geophysical and hydrogeological methods, electrical tomographies were performed considering the terrain without pronounced relief and absence of constructions, GPS was used to determine the geographic location of the electrodes of the SYSCAL equipment separated at 5m in a straight line, performing twenty-five tomographies.

In the realization of the model in two dimensions (2D) the tomographies presented resistivity ranges from 5.43 to 3752 Ohm*m, representing the lowest resistivities in permeable zones and the highest resistivities in impermeable soils, sand rocks, etc.

The generation of 2D and 3D images allowed us to identify and interpret that in the chosen study area is located a semi-confined aquifer, which is located at a depth of approximately 40 to 60 meters, it is surrounded by semi-permeable lithological material, thus determining the hydrogeological potential, based on the above, it was proposed as a conservation measure for groundwater in the sector the implementation of ecological barriers to prevent accessibility to them, using native flora or present in these areas.

Keywords: San Andres, electrical tomography, groundwater, hydrological potential conservation.



Revised by
Mario N. Salazar
CCL Englis Teacher

I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Una de las mayores problemáticas del siglo XXI es abastecer de agua a la creciente población mundial, de manera que, el consumo de agua se ha convertido en una crisis ambiental grave (Arango, 2013). A nivel mundial un tercio de las extracciones de agua dulce provienen de fuentes subterráneas, destinadas para uso agrícola (42%), doméstico (36%) e industrial (22%); donde se evidencia un incremento de la demanda de agua para consumo como consecuencia del crecimiento demográfico, urbanización, industrialización, ampliación de la producción agrícola y ganadera, entre otros usos (Cerón et al., 2021), convirtiéndose en un recurso natural indispensable para el ser humano. Estas demandas, junto con el cambio climático y el incremento de la contaminación, han cambiado el ciclo hidrológico y los sistemas de recursos de agua, siendo posible que el mundo enfrente un déficit de agua (Guanokuiza & Antúnez, 2019).

En este sentido, es necesario que los países implementen medidas para mejorar la calidad y conservación de agua subterránea de los puntos de captación y solventar las necesidades humanas, o hacer uso de nuevas tecnologías o ideas innovadoras para satisfacer sus necesidades hídricas (Cuenca et al., 2021).

En Ecuador, existen zonas en las que el agua subterránea es la única fuente disponible de acceso a este recurso para aprovisionar a poblaciones o para el riego de cultivos; constituye entonces un recurso esencial para la seguridad alimentaria, a la vez que es vital para el funcionamiento y subsistencia de los ecosistemas (Villaruel & Allaica, 2017). Últimamente, se han enfocado a realizar investigaciones y estudios previos para darle un manejo sostenible a las aguas subterráneas al momento de ser analizadas para su uso y consumo (Auge, 2014).

Según la Fundación Ayuda en Acción, en el país el acceso a agua potable es un bien que no está al alcance de toda la población, menos aún en las zonas rurales; solo el 39% de la población en Ecuador tienen acceso a este recurso (Fundación Ayuda en Acción, 2017), además, existen estadísticas aproximadamente de 5000 puntos de agua, pozos excavados y perforados alrededor del país (Burbano et al., 2015).

Es imprescindible el contar con un eficiente y adecuado servicio de agua potable que contribuya al bienestar de la población y su desarrollo integral. El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano, la Jefatura de agua Potable y Alcantarillado es la responsable de proveer los servicios básicos de agua potable y alcantarillado al cantón, el abastecimiento de agua potable del cantón funciona por gravedad, es decir que, en base a la topografía de la ciudad y la ubicación de sus fuentes y depósitos de regulación es posible que el agua llegue a cada uno de los usuarios. Por consiguiente, el agua subterránea es el principal insumo de todas las actividades sociales y productivas que se desarrollan en el sector de San Andrés, generando condicionamientos en el uso del territorio en función de su disponibilidad y calidad. Esta no ha sido caracterizada sus fuentes confines de protección (Zúñiga, 2019).

En este contexto, la investigación se enfoca en el estudio de la estratigrafía del sector de San Andrés, mediante la relación de tomografías eléctricas de resistividad y geología de la zona, determinando el potencial hidrogeológico para proponer un modelo de gestión de agua subterránea en el sector.

1.2 Planteamiento del Problema

El acceso al agua es un derecho humano irrenunciable que debe ser garantizado, facilitando el acceso de la población a fuentes y reservas de agua de calidad, sin embargo, en ciertos lugares el agua potable es de difícil acceso, permitiendo que las fuentes subterráneas jueguen un rol preponderante, pues permiten obtener agua de fácil acceso y altísima calidad (Camacho, Christian Orlando; Astudillo, 2020). Pero, su aprovechamiento no alcanza un nivel importante y se centra mayoritariamente en localidades reducidas.

La parte central de la Sierra ecuatoriana dispone de una serie de cuencas interandinas deprimidas, separadas unas de otras por elevaciones transversales o nudos cuyas alturas no superan los 3500 m.s.n.m. (Tenelema, 2017). En esta región se han formado acuíferos locales y discontinuos de permeabilidad variable, generalmente de baja a media y de mediano rendimiento (Chidichimo et al., 2018).

Por otra parte, el crecimiento demográfico y la expansión de áreas de urbanización son fuentes del incremento de producción y el consumo de agua potable (Mendoza, Chidichimo, & Straface, 2014). En la actualidad la parroquia San Andrés, es un polo de expansión urbano, lo que implica demanda en servicios básicos como agua para consumo humano (Tenelema, 2017).

En este contexto, San Andrés cuenta con una población actual de 15.225 habitantes (INEC, 2010); tiene una densidad poblacional de 95,2 hab/km²; el incremento de la densidad se debe a que San Andrés es una de las parroquias más grandes del cantón Guano, con la mayor cantidad de población ocupando la superficie territorial; constituidas por 3.297 viviendas que se prevé que en un mediano plazo a futuro se incrementen 2147 domicilios (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Andrés, 2019). Es así como en varias zonas de este sector la mayoría de la población tienen que ingeniar maneras para abastecer de agua, y que algunas de ellas que no poseen de este servicio a pesar de que existen acometidas en sus viviendas. Por esta razón el agua para consumo humano de origen subterráneo es una alternativa para abastecer del recurso hídrico para los pobladores (Valdiviezo, 2013). Por tanto, la demanda hídrica se convierte en un problema de carácter ambiental y humano, ya que es imperiosa la necesidad de obtener el recurso, así como lo describe la Constitución del Ecuador (2008). Por otra parte, el desconocimiento del subsuelo y de las características hidrogeológicas del sector, provocarían sobre explotación de agua subterránea, lo que conduciría a un impacto significativo en la producción de agua subterránea. De ahí la necesidad de conocer las estructuras hidrogeológicas del sector, con el fin de promover una gestión adecuada de los recursos hídricos subterráneos.

1.3 Justificación

El cantón Guano, es uno de los cantones que alberga la mayor cantidad de fuentes hídricas subterráneas de la provincia, lamentablemente no cuenta con estudios hidrogeológicos para la verificación de niveles de agua subterránea, esto es una necesidad imprescindible para un mejor manejo de los Recursos Hídricos. La dotación de agua de consumo para las zonas en expansión requiere de este tipo de estudios para identificar los posibles lugares de extracción de agua subterránea, para así tener un correcto manejo de este recurso, la cual será después tratada para su posterior distribución para el consumo humano.

En este contexto, esta investigación es parte del proyecto de investigación: CARACTERIZACIÓN LA OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE ACUÍFERO DEL CHAMBO, en el cual uno de sus objetivos es caracterizar el subsuelo del acuífero mediante tomografías eléctricas de resistividad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Estudiar las características hidrogeológicas del sector “San Andrés” mediante la interpretación de la estratigrafía del sector obtenida mediante tomografías eléctricas de resistividad y geología, para proponer medidas de conservación de las aguas subterráneas del sector.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar la geología regional y local para identificar las zonas hidrogeológicas en el sector de San Andrés.
- Realizar el estudio estratigráfico (en 2 y 3 dimensiones) del sector de San Andrés mediante tomografías eléctricas de resistividad.
- Identificar el potencial hidrogeológico para proponer medidas de conservación de las aguas subterráneas del sector.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Agua Subterránea

El agua subterránea es el agua situada bajo la superficie terrestre, se encuentra en espacios rocosos, suelos porosos o grietas de las formaciones rocosas, puede ser colectada mediante perforaciones, túneles, galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales (Ordoñez, 2014).

Las aguas subterráneas surgen debido a la filtración de las precipitaciones de agua (lluvia o nieve) a través de los poros del terreno. Así, el agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos (Sánchez, 2023).

De esta manera, estas están almacenadas en acuíferos, ubicados a diferentes niveles de profundidad, hasta sistemas confinados que están a varios kilómetros por debajo de la superficie.

2.2 Acuífero

Un acuífero es un volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua. El agua subterránea almacenada en los acuíferos forma una parte importante del ciclo hidrológico. Estudios revelan que cerca del 30 por ciento de toda el agua dulce disponible en el mundo es agua subterránea (Centeno, 2015).

Por otra parte, este recurso se filtra en la superficie terrestre y llega a los acuíferos en donde pueden almacenarse durante años. Además, la mayoría de estos devuelven el agua a los mares o los lleva a cuencas cerradas donde se evaporan, manteniendo así el equilibrio en el ciclo del agua (Cadena, 2022).

2.3 Tipos de acuíferos

La capacidad de retención o almacenamiento de agua de un acuífero varía según su localización, comportamiento hidrogeológico y la geología característica.

2.3.1 Acuíferos libres

También conocidos como no confinados o freáticos en los que el nivel de agua se localiza por debajo del techo de la formación permeable, no presentan formaciones impermeables, liberan agua por desaturación, es decir, el agua que transfieren es originaria del drenaje de sus poros (Valcarce et al., 2021).

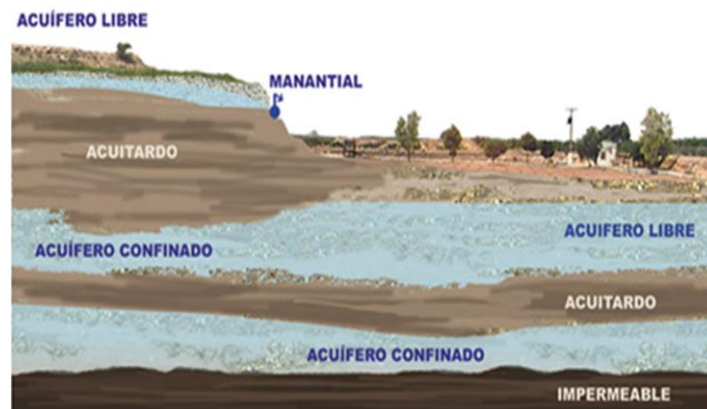
2.3.2 Acuíferos confinados

Llamados también cautivos, a presión o en carga, estos acuíferos están cubiertos por una capa impermeable confinante, en donde, el agua satura en su totalidad los poros o grietas, de tal forma que, al realizar perforaciones estas se elevan hasta equilibrarse la presión hidráulica con la atmosférica (Ordoñez, 2014).

2.3.3 Acuíferos semiconfinados

Son acuíferos a presión, como los confinados, pero en ellos existe una mayor permeabilidad, es decir, su muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten el desplazamiento vertical de agua y pueden recargarse a través del techo o perder agua a través de la base. Se los consideran acuitardos (Guillard et al., 2019).

Ilustración 1 Tipos de acuíferos



Fuente: (Ordoñez, 2014)

2.4 Usos de aguas subterráneas:

Según (Armstrong, 2022) “Las aguas subterráneas proporcionan agua potable en su totalidad o en parte hasta el 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego”. Además, las aguas subterráneas enfrían los centros de datos que hacen funcionar Internet e impulsan industrias como la energética, minera y manufacturera (Williams, 2022).

En un artículo publicado en la revista Science, James Famiglietti y Grant Ferguson, de la Universidad de Saskatchewan, han publicado un artículo en la misma que describe la importancia de la gestión del agua subterránea, señalando que hasta la fecha hay registros de aproximadamente 39 millones de pozos en todo el mundo y descubrieron que entre el 6 y el 20% de todos los pozos del mundo se encuentran actualmente a no más de cinco metros por debajo del nivel freático en el que se encuentran (Famiglietti & Ferguson, 2021).

2.5 Estratigrafía:

La Estratigrafía es la ciencia geológica cuyo propósito es el estudio y la interpretación de las rocas estratificadas, la estratificación, es una disposición en capas superpuestas o estratos desde el momento de su depósito o formación (Salazar, 2023). En su mayoría las rocas estratificadas son rocas sedimentarias, de manera que, la estratigrafía estudia principalmente las rocas sedimentarias, asimismo a las rocas metamórficas formadas a partir de rocas sedimentarias, que conservan su estratificación originaria, las rocas volcánicas estratificadas y las capas de sedimentos que no han sido litificados (Salazar, 2023). Cada uno de los estratos es el resultado del depósito durante un intervalo de tiempo preciso. El estudio de los estratos permite reconstruir las condiciones

ambientales en que se realizó su depósito y su edad, a partir de los fósiles que contenga (Molina, 2022).

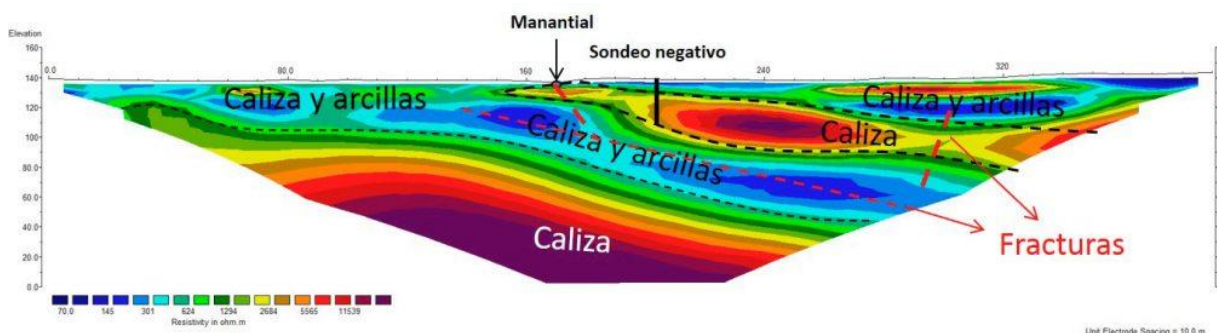
2.6 Tomografías Eléctricas:

La tomografía eléctrica es un método de prospección geofísica cuya finalidad es obtener la distribución de la resistividad eléctrica del terreno situado por debajo de la superficie terrestre, tanto vertical como horizontalmente (Alarcón & Basantes, 2022). La resistividad o resistencia específica es una medida de la oposición del material al paso de la corriente eléctrica, representada en unidades de ohmios-metro(Ωm) (Sánchez, 2023). Es una característica propia de los materiales, lo cual permite detectar cuerpos o estructuras que están presentes en el subsuelo y que presentan un valor de resistividad distinto al del medio que los rodea (CMPLab, 2021).

Para ello será preciso el empleo de un programa de inversión, con el que transformar las resistividades aparentes obtenidas en las pruebas en campo, a valores de resistividad.

Por lo tanto, el objetivo de este método se basa en obtener una sección 2D de resistividades del subsuelo, modelo a partir del cual se determina la presencia o no de filtraciones de agua en profundidad, mediante la localización de áreas en donde se obtenga una disminución anómala del valor de la resistividad del terreno (Muñoz, 2016). Por consiguiente, también se pueden realizar estudios 3D, en cuyo caso las observaciones se realizan en perfiles paralelos equidistantes, definiendo una cuadrícula,

Ilustración 2 Perfil de tomografía eléctrica realizada



Fuente: (Técnicas Geofísicas SL, 2017)

2.6.1 Ejecución del trabajo de campo:

Sobre el terreno, se delimita el perfil mediante cinta métrica y se clavan los electrodos según la distancia determinada, se conectan los electrodos con ayuda de las pinzas de cobre al cable de poder, finalmente se conecta la batería para que empiece a pasar corriente, por último, comienza la práctica con la toma de datos por parte del equipo. La unidad de medida será la encargada de establecer de forma automática todas las secuencias de observaciones según el protocolo elegido. Además, es importante asignar coordenadas a una serie de puntos del perfil, normalmente mediante observaciones GPS. También durante el proceso de medida, se toman fotos y notas sobre la zona a estudiar, anotando cualquier posible incidencia (precipitaciones, tipo de suelo, pendiente, fuentes hídricas cercanas, entre otros).

2.6.2 Procesamiento de datos:

El procesamiento de los datos consiste en adquirir un modelo de distribución de las resistividades reales del subsuelo a partir de los valores de resistividad aparente. Por tanto, se dispone de las aplicaciones Res2dinv y Res3dinv de Geotomo Software para estudios 2D y 3D respectivamente (Weinzettel et al., 2017). Estos programas se basan en un ajuste mediante el método de diferencias finitas, consisten en una división del subsuelo en celdas con un valor inicial de la resistividad real, a continuación, obtiene para cada celda un valor de la resistividad aparente y compara con los valores observados. De manera iterativa se van ajustando los valores de resistividad de cada celda hasta conseguir un error mínimo. La inversión se puede realizar añadiendo la topografía (Herrera, 2018).

2.6.3 Interpretación física de los resultados obtenidos:

Para la interpretación desde el punto de vista físico, se seleccionan los valores de la resistividad que presentan mayor discrepancia con el medio, conocidos como anomalías. Es recomendable realizar distintas representaciones gráficas, sobre todo en los estudios 3D, donde se suele realizar representaciones de secciones horizontales a distintas profundidades y también representaciones 3D de valores concretos de resistividad (Grijalva, 2022).

2.7 Software Res2dinv:

El programa RES2DINV emplea el método de inversión Gauss-Newton para generar un modelo en 2 dimensiones del subsuelo a partir de los datos de resistividad aparente. Es completamente automático y el usuario ni siquiera debe suministrar un modelo inicial (Goelec, 2017).

El programa escoge automáticamente los parámetros óptimos de inversión para un conjunto de datos determinado. De todas maneras, los parámetros que afectan al proceso de inversión pueden ser modificados por el usuario. El filtro de suavizado se puede ajustar para enfatizar las variaciones de resistividad en las direcciones vertical u horizontal. Se proporcionan dos variaciones diferentes del método smoothness constrained leastsquares (Yasir et al., 2019). Uno optimizado para áreas donde la resistividad de la subsuperficie varía de una manera suave y otro optimizado para áreas con límites claros. También está disponible una potente opción de inversión de datos para reducir el efecto de los puntos de datos ruidosos, además se puede incluir información de resistividad de pozos y otras fuentes para limitar la inversión (Yasir et al., 2019).

2.8 Software Voxler 4:

Voxler 4 crea extraordinarias visualizaciones en 3D de sus datos, de forma rápida y personalizada, importa fácilmente datos de muchos formatos de archivo para crear magníficos modelos que le permitan visualizar las relaciones en su conjunto de datos (Yasir et al., 2019). Este programa le permite mostrar datos en una variedad de formatos y colores, grabar un video animado de su modelo dinámico y elegir diferentes opciones para exportar imágenes y datos, puede filtrar por distracciones, datos duplicados o áreas que desea eliminar e interactuar con los datos mientras ve los resultados (Azizan et al., 2015).

Voxler es ideal para los especialistas de Ciencias de la Tierra que estudien los datos sísmicos, los pozos de perforación (verticales o desviadas), datos CPT, levantamientos con GPR, petrografía, la teledetección, entre otros (Técnicas Geofísicas SL, 2017).

Este software emplea el algoritmo de Gauss-Newton:

$$p^{k+1} = p^k - (J_f(p^k)^T J_f(p^k))^{-1} J_f(p^k)^T f(p^k) \quad (1)$$

Donde:

$f = (f_1, \dots, f_m)$ y $J_f(p)$ denota el Jacobiano de f en p (nótese que no es necesario que J_f sea cuadrada).

La matriz inversa, en la práctica, nunca se computa explícitamente, en lugar de ellos se utiliza

$$p^{k+1} = p^k + \delta^k, \quad (2)$$

Y se computa la actualización de δ^k resolviendo el sistema lineal

$$J_f(p^k)^T J_f(p^k) \delta^k = -J_f(p^k)^T f(p^k) \quad (3)$$

2.9 Potencial Hidrogeológico:

La hidrogeología contempla el estudio de aguas subterráneas cuyas reservas suelen ser útiles para fines diversos y por tanto sus condiciones de explotabilidad y calidad de estas involucra el análisis de varios factores (Silva & Campos, 2018). En términos hidrogeológicos el almacenamiento y movimiento del agua subterránea depende de la porosidad, la permeabilidad, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. La porosidad es la relación entre el volumen de espacios vacíos y el volumen total de la roca o unidad. La permeabilidad es la capacidad del material para transmitir agua. La transmisividad se refiere al caudal de agua que fluye a través de una franja vertical del acuífero. Finalmente, el coeficiente de almacenamiento se refiere al volumen de agua que puede ser liberado de un acuífero (Roldán-Guevara & Rossello, 2022).

III. METODOLOGIA

3.1 Tipo de Investigación

La estrategia metodológica empleada en la presente investigación es de diseño de campo con una parte experimental, así mismo el enfoque de la investigación es mixto, ya que ocupamos datos cualitativos y cuantitativos, gracias a la información In situ y las encuestas realizadas a las comunidades aledañas. Este estudio se realizó en un sector de la parroquia de San Andrés, perteneciente al cantón Guano, se determinó los puntos de monitoreo, para realizar la estratigrafía y conocer el potencial hidrogeológico, con el fin de proponer un modelo de gestión de los recursos hídricos subterráneos en la zona de estudio correspondiente por medio de tomografías eléctricas, de manera que, se realizará múltiples procesos que serán descritos a continuación:

3.2 Caracterización de la Zona de Estudio

Esto involucra las características del área de investigación como, la ubicación, topografía, geología y límites referenciales que son fundamentales para la aplicación del método geofísico, ya que, esta área es preferible que carezca de relieve y construcciones que impidan el proceso (Cadena, 2022).

3.3 Definición de puntos de monitoreo

Para la definición de cada uno de los puntos se consideró diversos factores, como la asequibilidad y condiciones ambientales a la hora de precisar los puntos, éstos fueron monitoreados mediante un GPS que nos permitió procesar las coordenadas de cada electrodo.

3.4 Configuración del Equipo SYSCAL en campo y adquisición de datos

Para la realización de la tomografía eléctrica en dos dimensiones (2D), se iniciara con la colocación de cada electrodo en la superficie del suelo a una misma distancia (5m) en línea recta para evitar problemas al momento de la interpretación, los electrodos se introdujeron en el suelo lo suficiente para garantizar el contacto al ser conectado al cable de transmisión del equipo, tomado en cuenta lo mencionado se dio inicio a la lectura de toda la secuencia en medición automática, en caso de que exista un error de conexión en los electrodos el equipo notifica antes de proseguir para corregir y verificar que todo esté funcionando correctamente. Una vez que culminó la medición, la información automáticamente se almacenó en el equipo, lista para la transferencia de datos a la computadora, para proseguir con el estudio.

3.5 Procesamiento de Datos (Modelamiento 2D)

Los resultados obtenidos en la toma de medidas en campo son dispuestos en forma de pseudosección de resistividad aparente en forma de una malla de discretización de dos dimensiones (2D). Los datos recopilados se ingresaron en el software RES2DINV para efectuar la inversión en dos dimensiones (Mayorga, 2020).

3.6 Modelamiento en tres dimensiones (3D)

Para el modelamiento en tres dimensiones de la zona de estudio, se utilizará el programa Voxler3D el cual determina mediante una interpolación de resistividades conocer los materiales litológicos que existan en el subsuelo.

3.7 Potencial hidrogeológico y proponer medida de conservación de aguas subterráneas

Para determinar el potencial hidrogeológico se tomó en cuenta los criterios geológicos y la distribución de los acuíferos, los cuales están controlados por la litología, estratigrafía y las estructuras de depósitos y las formaciones geológicas (Betancur, 2021). Por tanto, utiliza: porosidad, fraccionamiento, permeabilidad, transmisibilidad, y el coeficiente de almacenamiento. Además de información de uso del suelo, cobertura vegetal y asentamientos humanos que permitieron identificar áreas que puedan causar conflictos en el manejo de agua subterránea.

- En este contexto, el Plan de Desarrollo Sostenible y medidas de conservación del Agua contendrá:
- Propuesta de soluciones y conservación a problemas encontrados, en base a los estudios realizados

3.8 Definición de muestra poblacional

Considerando que uno de los objetivos de la investigación, es proponer medidas de conservación de las aguas subterráneas del sector de San Andrés, se realizó encuestas a la población de dicho sector.

Para obtener la muestra poblacional se utilizó el muestreo cualitativo finito, este tipo de muestreo se lo aplica cuando se tiene un valor total de la población y no valores detallados de cómo está conformada la misma, es decir, carece de información de los censos que se han realizado en la zona, por lo que se revisó el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Andrés, donde se encontró que San Andrés cuenta con un total de 13481 habitantes, representando el área de estudio el 10,12% de la parroquia equivalente a 1364 habitantes, las cuales se tomará en cuenta para la población.

Para llegar a este valor se utilizaron fórmulas matemáticas que se mostraran a continuación:

$$m = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (4)$$

Donde:

N: Población o universo

m: Muestra

Z: Nivel de confianza

p: Variabilidad positiva

q: Variabilidad negativa

e: Margen de error

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra al noroeste de la Provincia de Chimborazo, en el cantón Guano, parroquia de San Andrés, a 8 km de la ciudad de Riobamba. Esta zona fue escogida por las características físicas y topográficas que presenta, la parroquia de San Andrés presenta una temperatura promedio anual de 11,19°C y un rango altitudinal de 2900 hasta 6310 msnm (Ilustración 3).

Ilustración 3 Mapa de ubicación del área de estudio



Fuente: Autor

4.2 Descripción Geológica del Área de Estudio

4.2.1 Geología Regional

La Región Andina o Sierra Ecuatoriana está dividida en dos zonas paralelas, geológicamente distintas con rumbo NNE. Rocas metamórficas subyacen a la Cordillera Oriental, mientras que rocas volcánicas y sedimentarias subsidiarias del Cretácico al Paleoceno comprenden la masa de la Cordillera Occidental (Salguero, 2017). Los Volcánicos del Neógeno cubren parte de las dos cordilleras y rellenan los valles interandinos, que actúan como línea divisoria tanto al Norte como al Centro del Ecuador. Al Sur la distinción morfológica es obviamente menor, pero geológicamente evidente; sin embargo, la parte Suroeste del país es muy diferente, teniendo un basamento metamórfico Pre-Mesozoico que está sobrepuesto por volcánicos y sedimentos (Betancur, 2021).

4.2.2 Geología Local

Las zonas urbanas de Riobamba, Guano y San Andrés están localizadas en el Callejón Interandino, en el cual, se observan superficies morfológicas relativamente planas

y regulares. Las cuales fueron generadas a partir de los productos volcánicos de los centros eruptivos localizados en el área de estudio y en sus zonas proximales (Tamay, 2018).

Se caracterizó ocho unidades litológicas informales, la mismas que corresponden a los depósitos volcanoclásticos y fluvio-lacustres localizados en el Valle de Riobamba y Guano, depósitos de avalancha de escombros proveniente de los volcanes Chimborazo, Tungurahua y el Altar, depósitos fluviales del Rio Chambo y a los productos de los volcanes Iguayata y Conos de Calpi (Galárraga, 2018).

En cuanto su geología, los suelos de la parroquia son de tipo inceptisol los mismos que se caracterizan por un débil desarrollo de horizontes, origen volcánico reciente y ocurrencia típica en zonas recientemente deglaciadas. Los Inceptisoles se presentan en cualquier tipo de clima y se han originado a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes, depresiones o superficies geomorfológicas jóvenes (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Andrés, 2019).

4.3 Resultados de tomografías eléctricas

En la ilustración 4 se puede observar de una mejor manera la ubicación geográfica de las veinticinco tomografías que se realizaron de forma lineal en el campo, con lo que nos permitió detallar de forma más precisa la resistividad aparente del subsuelo que se estudió en la presente investigación. Los valores de resistividad de cada una de las tomografías eléctricas dependerán de la conducción electrolítica de cada material y la profundidad a la que se encuentren, la cual facilita su identificación.

Ilustración 4 Mapa de ubicación de las tomografías eléctricas



Fuente: Autor

Para la interpretación de las tomografías de resistividad eléctrica, esta investigación se fundamentó en la tabla de Resistividad Eléctricas de (Patra, 2016). A continuación, se muestra la tabla 1 simplificada de asociación de litología y resistividades en la que se fundamentó para la interpretación de los datos de estudio.

Tabla 1 Resistividad Eléctrica

Litología	Resistividad (Ohm*m)
Rocas ígneas y metamórficas no meteorizadas	1000 – 100000
Rocas ígneas máficas y félsicas meteorizadas	3 – 20
Rocas metamórficas meteorizadas	10 – 2000
Lutitas	6 – 40
Areniscas	70 – 1000
Conglomerados	1000 – 10000
Agua y Fresca Acuífero	4 - 100

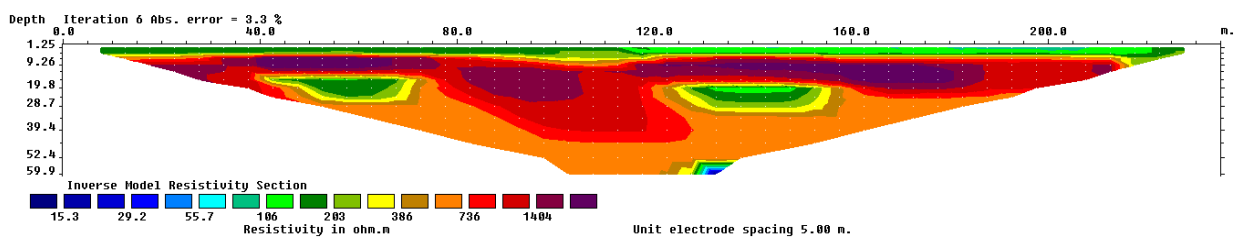
Fuente: Adaptada de (Patra, 2016)

4.3.1 Análisis e Interpretación de la primera tomografía eléctrica

La primera tomografía eléctrica presentó resistividades de 15.3 Ohm*m a 1404 Ohm*m (Ilustración 5), esto nos enseña una variedad de materiales que se encuentran en la zona de estudio.

Por esta razón el rango de 15.3 a 55.7 Ohm*m se muestra una coloración azul, aduciendo que existe un manto freático, este se encuentra aproximadamente a una profundidad de 60 metros. Además, se puede observar en el rango de resistividad entre 55.7 a 386 Ohm*m de una coloración verde, que indica zonas semipermeables, como se detalla en la (Tabla 1). En la mayor parte de la tomografía se observa un rango alto de resistividades que va entre los 386 a 1484 Ohm*m que toman una coloración café, rojo y lila, detallando que son zonas impermeables compuestas mayormente de arcillas o rocas.

Ilustración 5 Primera tomografía eléctrica de resistividad



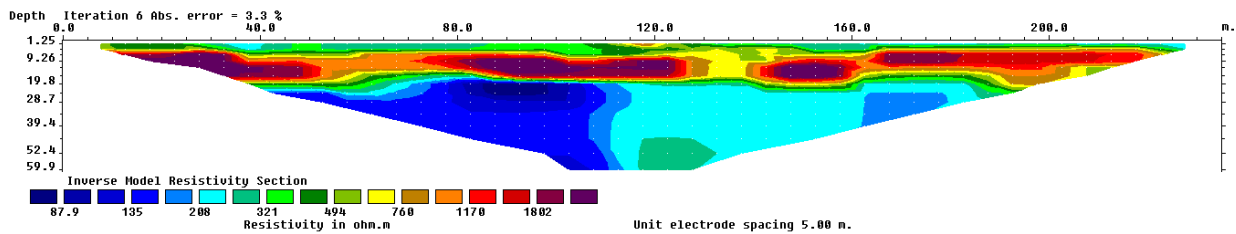
Fuente: Autor

4.3.2 Análisis e Interpretación de la segunda tomografía eléctrica

La segunda tomografía eléctrica (Ilustración 6), presentó resistividades de 87.9 Ohm*m a 1802 Ohm*m para lo cual podemos diferenciar zonas de recarga hídrica, a una profundidad de 20 metros y con una resistividad de 87.9 a 208 Ohm*m se muestra una coloración azul y celeste. De la misma manera, se puede observar en el rango de resistividad entre 208 a 760 Ohm*m de una coloración verde, que indica zonas semipermeables que ayudan a la recarga hídrica de la zona, finalmente, se observa un

rango alto de resistividades que va entre los 760 a 1802 Ohm*m que toman una coloración de rojo a lila, los cuales se encuentra de forma esporádica, a una profundidad de 10 metros.

Ilustración 6 segunda tomografía eléctrica de resistividad

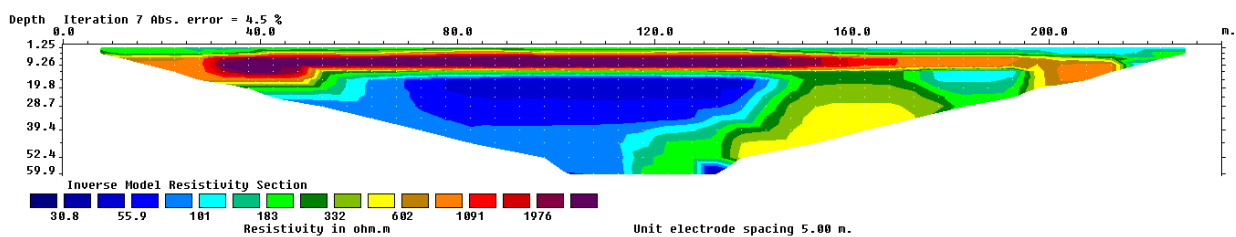


Fuente: Autor

4.3.3 Análisis e Interpretación de la tercera tomografía eléctrica

La tercera tomografía eléctrica (Ilustración 7) presenta un rango de resistividades eléctricas entre 38.8 a 1976 Ohm*m, para lo cual se distribuye de la siguiente manera. En el rango de 30.8 a 181 Ohm*m el cual tiene una tonalidad azul a celeste indica una zona permeable la cual contiene agua subterránea, esta se puede identificar a una profundidad entre 10 a 60 metros, Por otra parte, se observa resistividades que van desde 181 a 682 Ohm*m que tiende a una tonalidad verde la cual indica zonas semi permeables que están conformadas por arenas y limos, los cuales se encuentran en una pequeña capa superior y una mayor cantidad en la parte lateral del acuífero. Posteriormente, podemos observar una fina capa impermeable la cual se distingue por su coloración naranja, roja y lila, la cual se encuentra a una profundidad de 5 a 10 metros y un rango de resistividades que va desde 682 a 1976 Ohm*m.

Ilustración 7 Tercera tomografía eléctrica



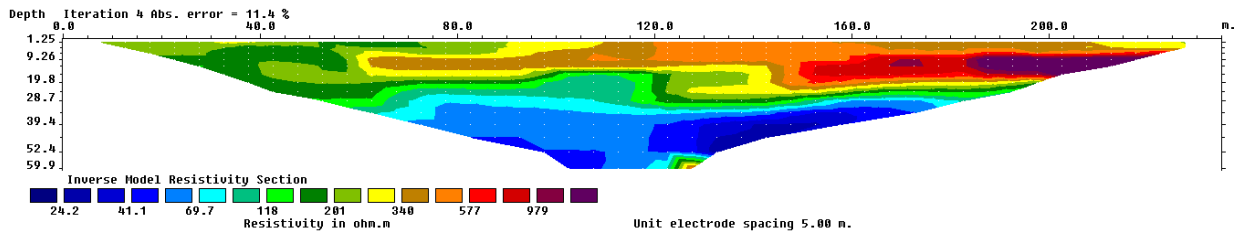
Fuente: Autor

4.3.4 Análisis e Interpretación de la cuarta tomografía eléctrica

La cuarta tomografía eléctrica (Ilustración 8) presenta un rango de resistividades eléctricas entre 24.2 a 976 Ohm*m, con estos valores obtenidos y la gama de colores mostrada en la figura se constató la presencia de un acuífero subterráneo y diferentes materiales por los cuales está compuesto el subsuelo de la zona. Se puede observar que en el rango de 24.2 a 69.7 Ohm*m se presenta una coloración azul a celeste la cual muestra una zona permeable que se lo denomina acuífero subterráneo el cual está rodeado de partes celestes los cuales son zonas semi permeables que recubren este acuífero. Seguido de esto se tiene resistividades de entre 15.6 a 24.4 Ohm*m con una gama de colores verde la cual indica zonas o perfiles de suelo semi permeables que permiten el flujo de agua. Se muestra

otro rango de resistividades que va desde 38.2 a 94.1 ohm*m que tiene una coloración café arenoso, pasando por rojo hasta morado, la cual indica la presencia de zonas impermeables.

Ilustración 8 Cuarta tomografía eléctrica de resistividad

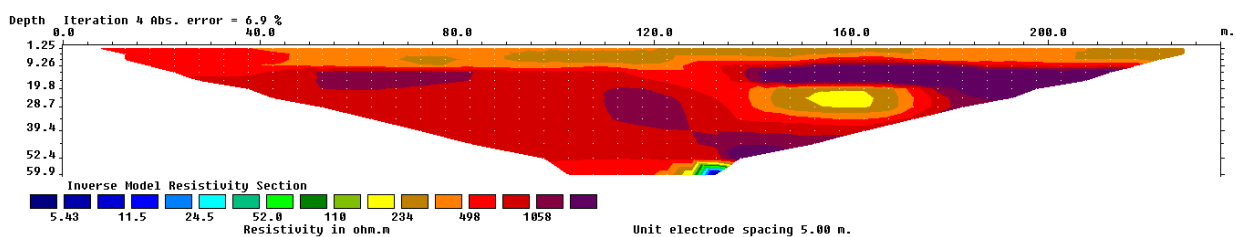


Fuente: Autor

4.3.5 Análisis e Interpretación de la quinta tomografía eléctrica

La quinta tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 9) muestra un rango de resistividad de 5.43 a 1058 Ohm*m, donde se observa los diferentes formaciones del subsuelo como se puede evidenciar la coloración naranja a lila presenta casi toda la extensión, estos estratos se encuentra en un rango de resistividad entre 234 a 1085 Ohm*m, finalmente encontramos una pequeña zona donde se podría encontrar un acuífero subterráneo el cual se encuentra a una profundidad de 60 metros, con una coloración azul.

Ilustración 9 Quinta tomografía eléctrica

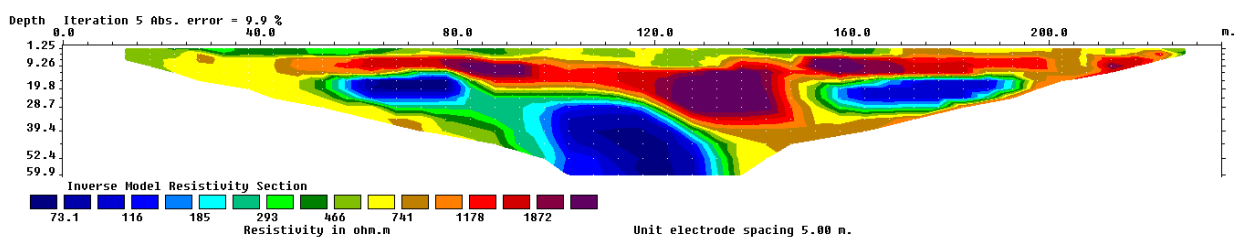


Fuente: Autor

4.3.6 Análisis e Interpretación de la sexta tomografía eléctrica

La sexta tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 10) muestra un rango de resistividad de 73.1 a 1872 Ohm*m, en esta se observa los diferentes estratos del subsuelo de la zona de estudio. Dentro del rango de resistividad de 73,1 a 185 Ohm*m toma una coloración azul a celeste nos muestra una zona permeable la cual tiene mayor presencia en la ilustración, esto se debe a la geología de la zona, así también en el rango de resistividad de 741 a 1872 Ohm*m se encuentra suelos impermeables en las partes medias de la zona.

Ilustración 10 Sexta tomografía eléctrica



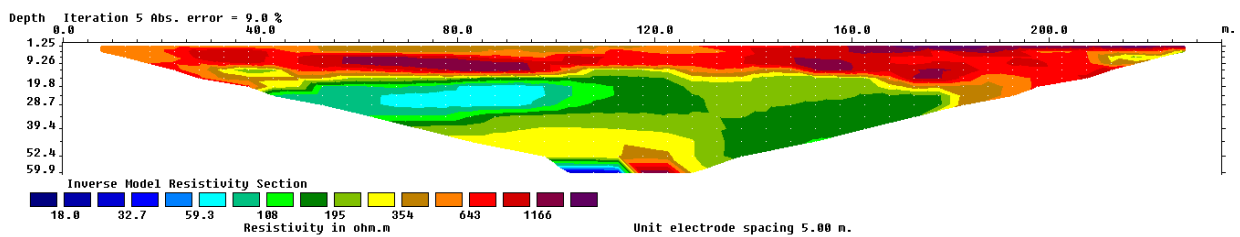
Fuente: Autor

4.3.7 Análisis e Interpretación de la séptima tomografía eléctrica.

La séptima tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 11) muestra un rango de resistividad de 18 a 1166 Ohm*m, con estos valores obtenidos, se puede evidenciar una amplia gama de colores mostrada en la figura, lo cual representa diferentes materiales por los cuales está compuesto el subsuelo de la zona.

Dentro del rango de resistividad de 18 a 59.3 Ohm*m toma una coloración azul a celeste lo que muestra un cuerpo de agua subterránea a una profundidad aproximada de 60 metros y un zona altamente permeable que se encuentre alrededor de los 20 metros, en el rango de 59.3 a 354 Ohm*m se encuentra suelos semipermeable, y finalmente en el rango de 354 a 1166 Ohm*m, podemos visualizar que se encuentra en los primero 15 metros de profundidad, lo cual causa que esta zona impermeable no permita el paso del agua para los niveles inferiores.

Ilustración 11 Séptima tomografía eléctrica

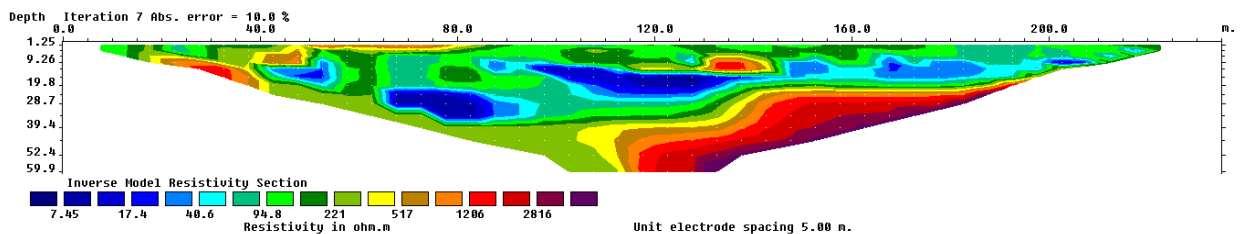


Fuente: Autor

4.3.8 Análisis e Interpretación de la octava tomografía eléctrica.

La octava tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 12) muestra un rango de resistividad entre 7.45 a 2816 Ohm*m. Por lo cual podemos evidenciar una variedad de elementos, el rango de 7.45 a 40.6 Ohm*m se observa diferentes masas de agua a diferentes profundidades y espaciadas a lo largo de la tomografía, además podemos visualizar que la mayor parte de material se encuentra entre las resistividades de 40.6 a 517 Ohm*m y de color amarillo a verde, lo cual ayuda a la recarga hídrica de la zona, finalmente encontramos zonas impermeables en la parte inferior de la imagen con una coloración de naranja a lila, y unas resistividades entre 517 a 2816 Ohm*m.

Ilustración 12 Octava tomografía eléctrica

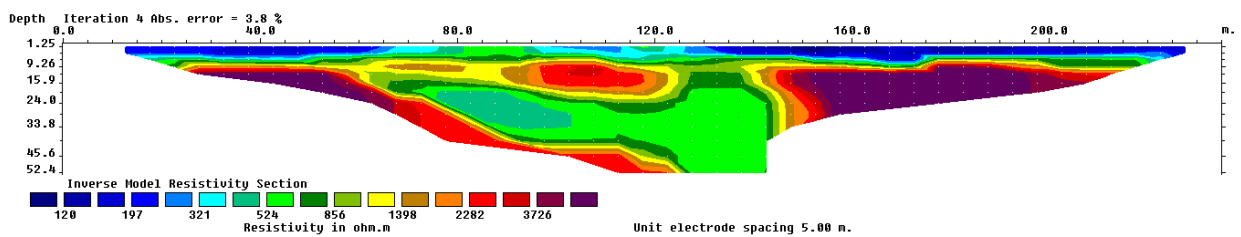


Fuente: Autor

4.3.9 Análisis e Interpretación de la novena tomografía eléctrica.

La novena tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 13) muestra datos de resistividad de entre 120 a 3726 Ohm*m, en los cuales se aprecia diferentes zonas y perfiles en la parte subterránea de la zona de estudio. Como podemos apreciar, en el rango de 120 a 321 Ohm*m de resistividad, se encuentra en la parte superior de la imagen a los 10 metros de profundidad una gama de colores de azul a celeste, lo que indica una alta permeabilidad presente en la zona, a su vez se observa que el rango de resistividad eléctrica que predominan se encuentra entre 1398 a 3726 Ohm*m las cuales son zonas impermeables que se encuentran a las profundidades de 10 a 60 metros, finalmente encontramos una zona de transición la cual se puede evidenciar una gama de colores entre amarillo a verde.

Ilustración 13 Novena tomografía eléctrica.

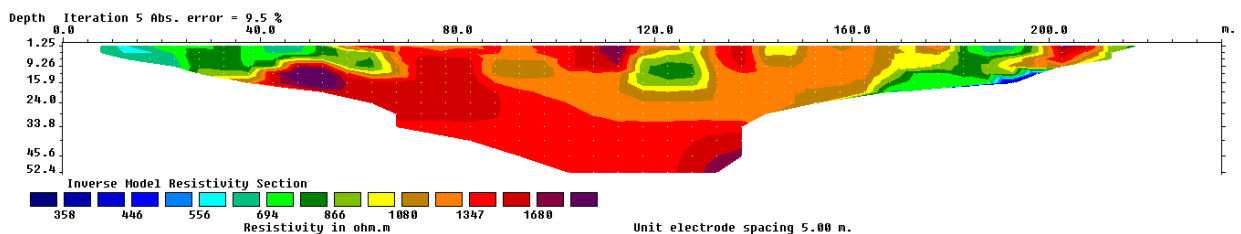


Fuente: Autor

4.3.10 Análisis e Interpretación de la décima tomografía eléctrica.

La décima tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 14) muestra datos de resistividad entre 358 a 1680 Ohm*m en los cuales se observa diferentes zonas, perfiles o estratos internos de la zona de estudio. Como se puede apreciar, existen dos zonas ampliamente marcadas las cuales se dividen por su rango de resistividad, la primera se encuentra entre 566 a 1080 Ohm*m las cuales se pueden apreciar por su gama de colores entre amarillo a verde, y también se puede visualizar zonas impermeables con resistividades entre 1080 a 1680 Ohm*m, que tiene mayor presencia en la imagen con una coloración de naranja a lila.

Ilustración 14 Décima tomografía eléctrica de resistividad



Fuente: Autores

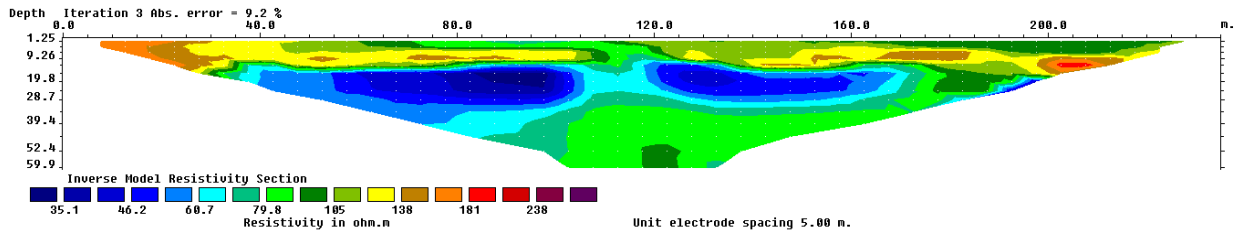
4.3.11 Análisis e Interpretación de la décima primera tomografía eléctrica.

En la décima primera tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 15) muestra datos de resistividad entre 35.1 a 238 Ohm*m en los cuales muestra la presencia de

suelos permeables o capas freáticas en un rango de resistividad entre 35.1 a 60.7 Ohm*m, con una coloración de azul a celeste a una profundidad aproximada de 20 metros.

En el rango de 60.7 a 138 Ohm*m de resistividad muestra diferentes estratos o materiales semi permeables con resistividades, con una coloración de verde a amarillo.

Ilustración 15 Décima primera tomografía eléctrica.



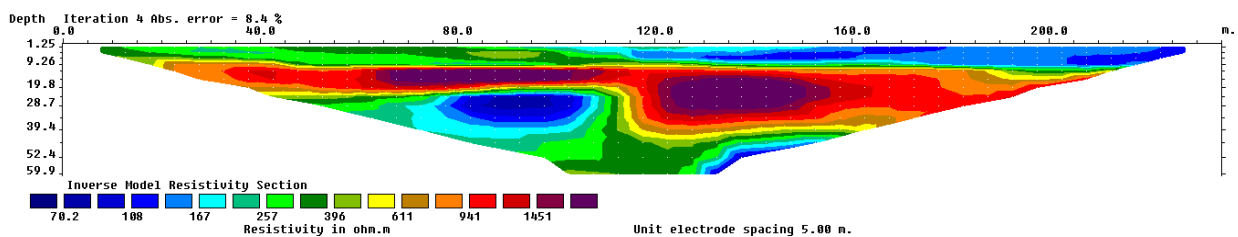
Fuente: Autor

4.3.12 Análisis e Interpretación de la décima segunda tomografía eléctrica.

En la décima segunda tomografía eléctrica de resistividad se observa un rango de resistividad entre 70.2 a 1451 Ohm*m (Ilustración 16) los cuales están divididos en diferentes gamas de colores, las mismas muestran materiales y características diferentes.

En el rango de resistividad entre 70.2 a 167 Ohm*m muestra una gama de colores de celeste a azul lo cual se interpreta como parte de un acuífero subterráneo, se puede observar que el acuífero se encuentra rodeado de material impermeable, esto se define por la resistividad que oscila entre 611 a 1451 Ohm*m, la cual mantiene una gama de colores de entre naranja a lila.

Ilustración 16 Décima segunda tomografía eléctrica.

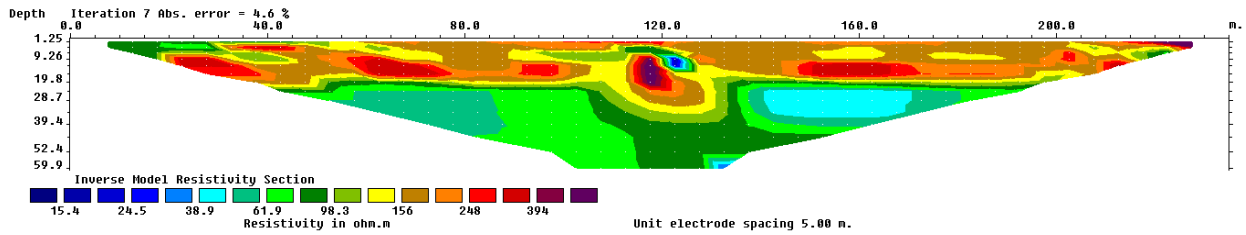


Fuente: Autor

4.3.13 Análisis e Interpretación de la décima tercera tomografía eléctrica.

En la décima tercera tomografía eléctrica de resistividad abarca un rango de resistividad entre 15.4 a 394 Ohm*m, en el rango de resistividad entre 156 a 394 Ohm*m se observa que abarca la mayor parte de la (Ilustración 17) esto se muestra en una gama de colores de entre naranja a lila, los cuales se encuentran en la parte alta de la imagen, estos pueden ser arcillas que son materiales impermeables lo cual impide la infiltración de agua, además, cuenta con suelos semi permeables que se muestran con una resistividad de 38.9 a 156 Ohm*m en una gama de colores verde a amarillo, finalmente encontramos zonas permeables las cuales se encuentran en la parte media de la imagen con una coloración de azul a celeste y un rango de resistividad de 15.4 a 38.9 Ohm*m.

Ilustración 17 Décima tercera tomografía eléctrica



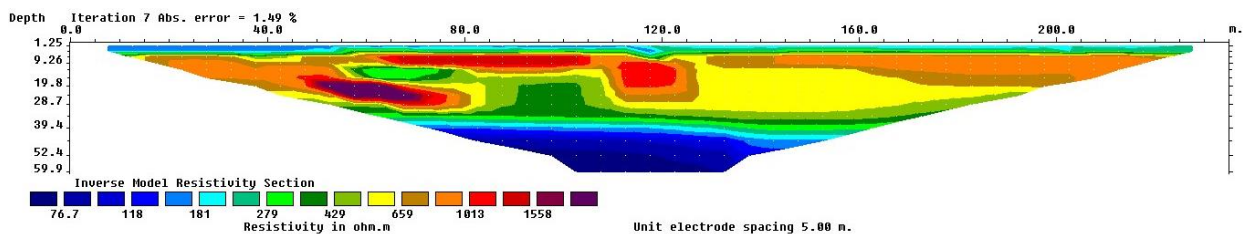
Fuente: Autor

4.3.14 Análisis e Interpretación de la décima cuarta tomografía eléctrica

La décima cuarta tomografía eléctrica presentó resistividades de 76.7 Ohm*m a 1558 Ohm*m (Ilustración 18), esto nos enseña una variedad de materiales que se encuentran en la zona de estudio.

Por esta razón el rango de 76.7 a 181 Ohm*m se muestra una coloración azul, aduciendo que existe un manto freático, este se encuentra aproximadamente a una profundidad de 60 metros. Además, se puede observar en el rango de resistividad entre 181 a 659 Ohm*m de una coloración verde, que indica zonas semipermeables, como se detalla en la (Tabla 1). En la mayor parte de la tomografía se observa un rango alto de resistividades que va entre los 659 a 1558 Ohm*m que toman una coloración naranja, rojo y lila, detallando que son zonas impermeables compuestas mayormente de arcillas o rocas a una profundidad aproximada entre los 7 metros y 35 metros.

Ilustración 18 Décima cuarta tomografía eléctrica

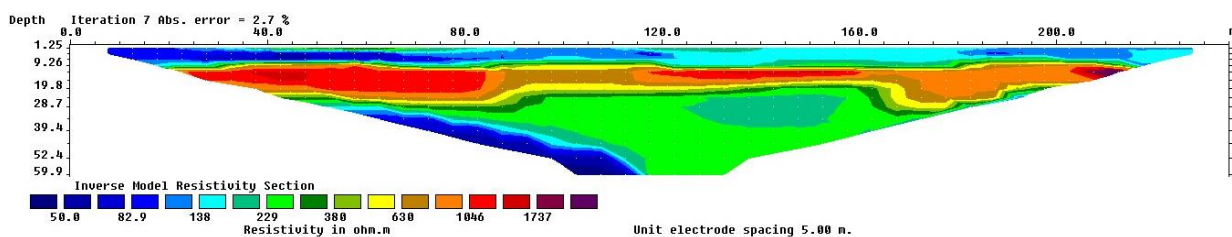


Fuente: Autor

4.3.15 Análisis e Interpretación de la décima quinta tomografía eléctrica

La décima quinta tomografía eléctrica (Ilustración 19), presentó resistividades de 50 Ohm*m a 1737 Ohm*m para lo cual podemos diferenciar zonas de recarga hídrica, a una profundidad aproximada de 9.26 metros y la otra entre 28,7 metros y los 60 metros y con una resistividad de 50.0 a 138 Ohm*m se muestra una coloración azul y celeste. De la misma manera, se puede observar en el rango de resistividad entre 138 a 630 Ohm*m de una coloración verde, que indica zonas semipermeables que ayudan a la recarga hídrica de la zona, finalmente, se observa un rango alto de resistividades que va entre los 630 a 1737 Ohm*m que toman una coloración de rojo a lila, los cuales se encuentra de forma esporádica, a una profundidad de 10 metros.

Ilustración 19 Décima quinta tomografía eléctrica

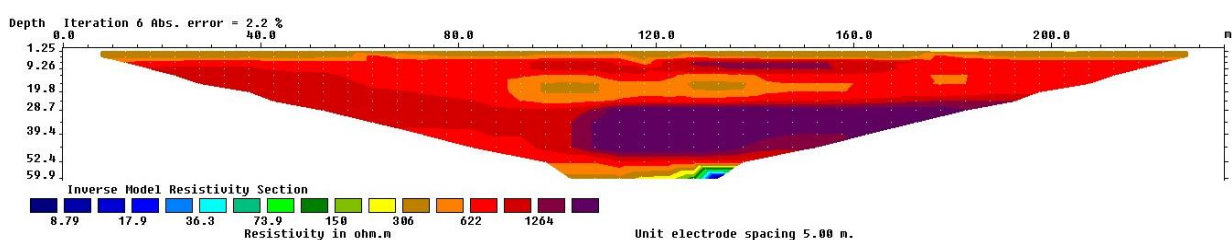


Fuente: Autor

4.3.16 Análisis e Interpretación de la décima sexta tomografía eléctrica

La décima sexta tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 20) muestra un rango de resistividad de 8.79 a 1264 Ohm*m, donde se observa los diferentes formaciones del subsuelo como se puede evidenciar la coloración naranja a lila presenta casi toda la extensión, estos estratos se encuentra en un rango de resistividad entre 306 a 1264 Ohm*m, los mismos que se encuentran a una profundidad que va desde la superficie a los 52.4 m que están compuestas por lavas y granitos sanos, impidiendo la fácil infiltración del agua superficial o aguas lluvia, finalmente encontramos una pequeña zona donde se podría encontrar un acuífero subterráneo el cual se encuentra a una profundidad de 60 metros, con una coloración azul.

Ilustración 20 Décima sexta tomografía eléctrica

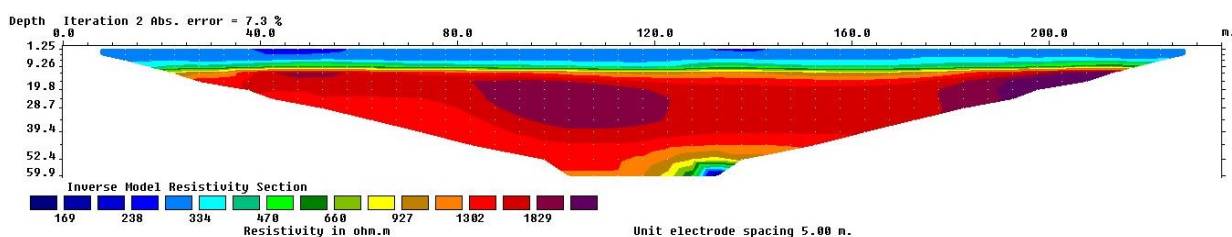


Fuente: Autor

4.3.17 Análisis e Interpretación de la décima séptima tomografía eléctrica

La décima séptima tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 21) muestra un rango de resistividad de 169 a 1829 Ohm*m, en esta se observa los diferentes estratos del subsuelo de la zona de estudio. Dentro del rango de resistividad de 169 a 334 Ohm*m toma una coloración azul a celeste nos muestra una zona permeable la cual tiene mayor presencia en la parte alta de la ilustración, esto se debe a la geología de la zona, así también en el rango de resistividad de 927 a 1829 Ohm*m se encuentra suelos impermeables desde los 12 metros aproximadamente de profundidad.

Ilustración 21 Décima séptima tomografía eléctrica

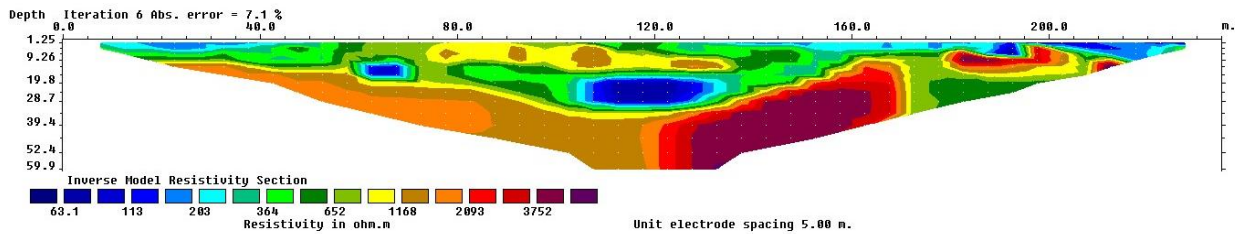


Fuente: Autor

4.3.18 Análisis e Interpretación de la décima octava tomografía eléctrica

La décima octava tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 22) muestra un rango de resistividad entre 63.1 a 3752 Ohm*m. Por lo cual podemos evidenciar una variedad de elementos, el rango de 63.1 a 203 Ohm*m se observa diferentes masas de agua a diferentes profundidades y espaciadas a lo largo de la tomografía, además podemos visualizar que la mayor parte de material se encuentra entre las resistividades de 203 a 1168 Ohm*m y de color amarillo a verde, lo cual ayuda a la recarga hídrica de la zona, finalmente encontramos zonas impermeables en la parte inferior de la imagen con una coloración de naranja a lila, y unas resistividades entre 1168 a 3752 Ohm*m.

Ilustración 22 Décima octava tomografía eléctrica

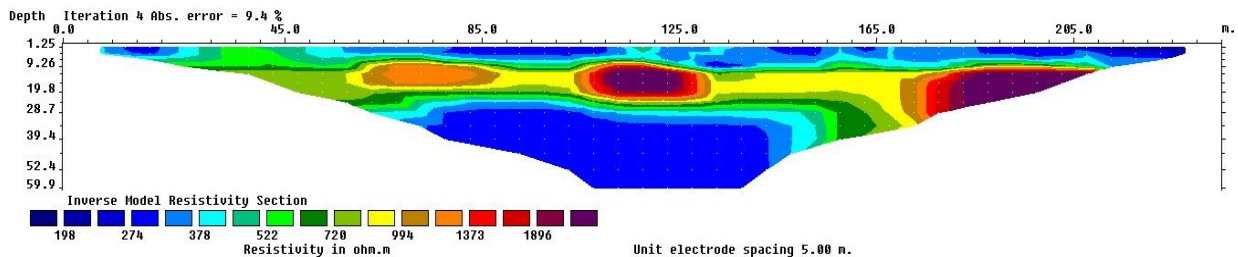


Fuente: Autor

4.3.19 Análisis e Interpretación de la décima novena tomografía eléctrica

La décima novena tomografía eléctrica (Ilustración 23) presenta un rango de resistividades eléctricas entre 198 a 1896 Ohm*m, para lo cual se distribuye de la siguiente manera. En el rango de 198 a 378 Ohm*m el cual tiene una tonalidad azul a celeste indica una zona permeable la cual contiene agua subterránea, esta se puede identificar dos sectores el primero va desde los 1.25 metros hasta los 9,26 metros aproximadamente y el segundo a una profundidad entre 28.7 a 60 metros, Por otra parte, se observa resistividades que van desde 378 a 994 Ohm*m que tiende a una tonalidad verde la cual indica zonas semi permeables que están conformadas por arenas y limos, los cuales se encuentran en una pequeña capa superior y una mayor cantidad en la parte lateral del acuífero. Posteriormente, podemos observar una fina capa impermeable la cual se distingue por su coloración naranja, roja y lila, la cual se encuentra a una profundidad de 9,26 a 28.7 metros y un rango de resistividades que va desde 994 a 1896 Ohm*m.

Ilustración 23 Décima novena tomografía eléctrica

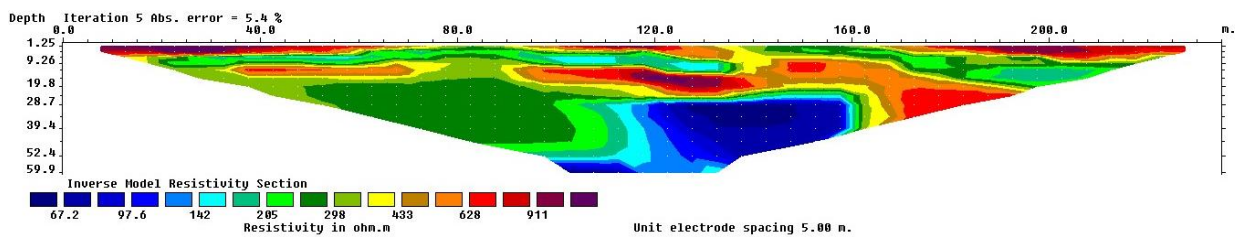


Fuente: Autor

4.3.20 Análisis e Interpretación de la vigésima tomografía eléctrica

En la vigésima tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 24) abarca un rango de resistividad entre 67.2 a 911 Ohm*m, en el rango de resistividad entre 433 a 911 Ohm*m se observa en una gama de colores de entre naranja a lila, los cuales se encuentran en la parte alta de la imagen, estos pueden ser arcillas que son materiales impermeables lo cual impide la infiltración de agua, además, cuenta con suelos semi permeables que abarcan gran parte de la tomografía, se muestra con una resistividad de 142 a 433 Ohm*m en una gama de colores verde a amarillo, finalmente encontramos zonas permeables las cuales se encuentran en la parte media de la imagen con una coloración de azul a celeste y un rango de resistividad de 67.2 a 142 Ohm*m.

Ilustración 24 Vigésima tomografía eléctrica

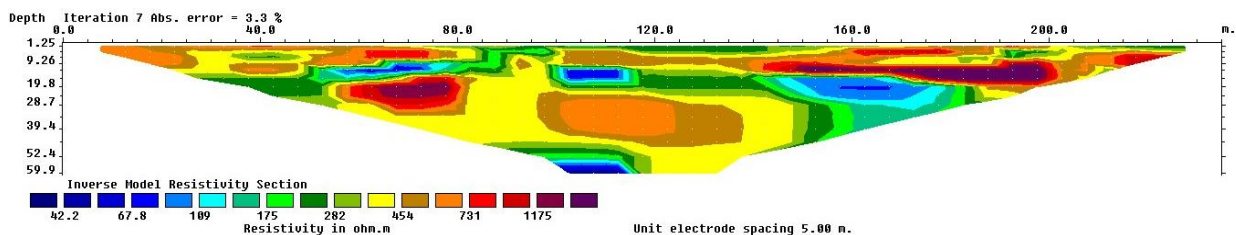


Fuente: Autor

4.3.21 Análisis e Interpretación de la vigésima primera tomografía eléctrica

La vigésima primera tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 25) muestra un rango de resistividad entre 42.2 a 1175 Ohm*m. Por lo cual podemos evidenciar una variedad de elementos, el rango de 42.2 a 109 Ohm*m se observa diferentes masas de agua a diferentes profundidades y espaciadas a lo largo de la tomografía, además podemos visualizar que la mayor parte de material se encuentra entre las resistividades de 109 a 454 Ohm*m y de color amarillo a verde, lo cual ayuda a la recarga hídrica de la zona, finalmente encontramos zonas impermeables en la parte media de la imagen con una coloración de naranja a lila, y unas resistividades entre 454 a 1175 Ohm*m.

Ilustración 25 Vigésima primera tomografía eléctrica



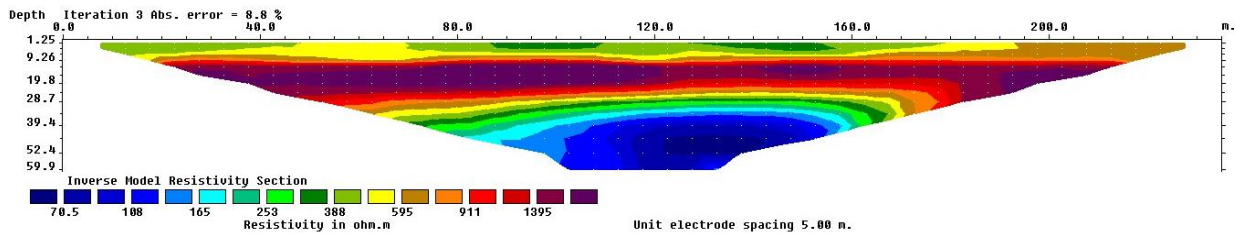
Fuente: Autor

4.3.22 Análisis e Interpretación de la vigésima segunda tomografía eléctrica

La vigésima segunda tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 26) muestra un rango de resistividad de 70.5 a 1395 Ohm*m, donde se observa los diferentes formaciones del subsuelo como se puede evidenciar la coloración naranja a lila presenta casi toda la extensión, estos estratos se encuentran en un rango de resistividad entre 595 a

1395 Ohm*m, los mismos que se encuentran a una profundidad que va desde los 9.96 a 35 metros aproximadamente, finalmente encontramos una pequeña zona donde se podría encontrar un acuífero subterráneo el cual se encuentra a una profundidad de 60 metros, con una coloración azul y una resistividad de 70.5 a 165 Ohm*m.

Ilustración 26 Vigésima segunda tomografía eléctrica



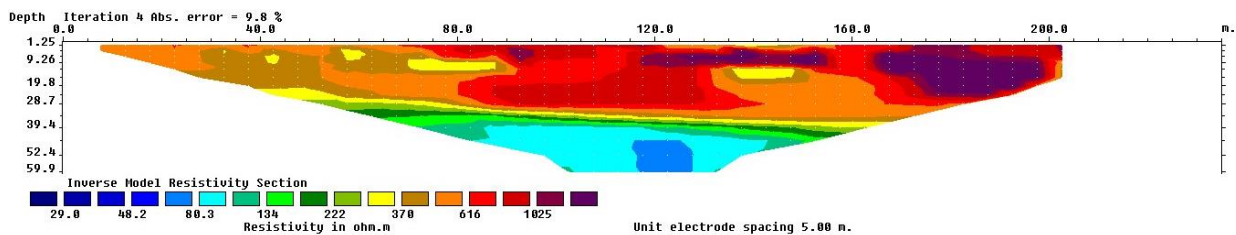
Fuente: Autor

4.3.23 Análisis e Interpretación de la vigésima tercera tomografía eléctrica

La vigésima tercera tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 27) muestra un rango de resistividad de 29 a 1025 Ohm*m, con estos valores obtenidos, se puede evidenciar los diferentes materiales por los cuales está compuesto el subsuelo de la zona.

Dentro del rango de resistividad de 29 a 80.3 Ohm*m toma una coloración azul a celeste lo que muestra un cuerpo de agua subterránea a una profundidad de 39.4 a 60 metros debajo de una zona altamente impermeable, en el rango de 80.3 a 370 Ohm*m se encuentra suelos semipermeable, y finalmente en el rango de 370 a 1025 Ohm*m, podemos visualizar que se encuentra en los primeros 28.7 metros de profundidad, lo cual causa que esta zona impermeable no permita el paso del agua para los niveles inferiores, estos pueden ser suelos arcillosos y rocas volcánicas.

Ilustración 27 Vigésima tercera tomografía eléctrica



Fuente: Autor

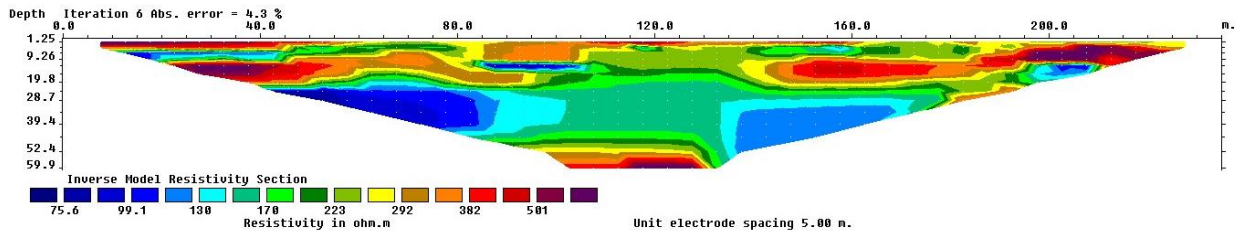
4.3.24 Análisis e Interpretación de la vigésima cuarta tomografía eléctrica

En la vigésima cuarta tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 28) muestra un rango de resistividad de entre 75.6 a 501 Ohm*m las cuales albergan diferentes componentes en el subsuelo de la zona de estudio.

En el rango de resistividad de 75.6 a 130 Ohm*m se muestra una gama de colores de azul a celeste que indica masas de agua albergadas en el interior de la zona de estudio, las cuales pueden ser parte de un acuífero subterráneo, así mismo en el rango de resistividad de 130 a 292 Ohm*m muestra suelos semi permeables, limos o arenas, los cuales ayudan a la recarga acelerada de las masa de agua, estos componentes muestran una

gama de colores de verde a amarillo, sin embargo, también existe un rango de resistividad de 292 a 501 Ohm*m el cual muestra zonas impermeables que se muestran en una gama de colores de café a lila.

Ilustración 28 Vigésima cuarta tomografía eléctrica

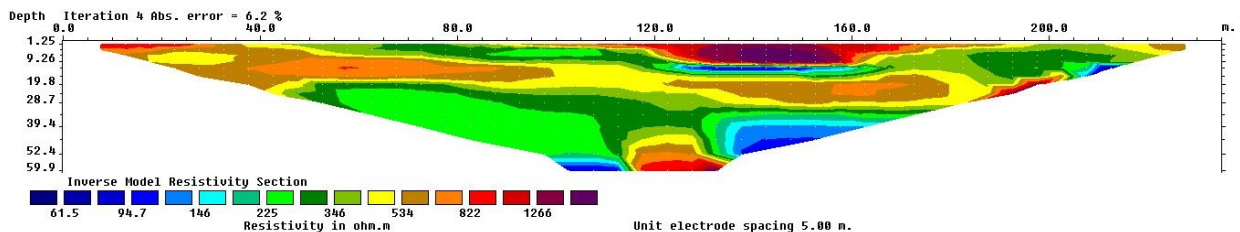


Fuente: Autor

4.3.25 Análisis e Interpretación de la vigésima quinta tomografía eléctrica

La vigésima quinta tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 29) se observa un rango de resistividad de 61.5 a 1266 Ohm*m, en esta se observa los diferentes estratos del subsuelo de la zona de estudio. Dentro del rango de resistividad de 61.5 a 146 Ohm*m toma una coloración azul a celeste nos muestra una zona permeable, así mismo en el rango de resistividad de 146 a 534 Ohm*m se muestra suelos semi permeables la cual tiene mayor presencia en la ilustración, esto se debe a la geología de la zona, así también en el rango de resistividad de 534 a 1266 Ohm*m se encuentra suelos impermeables a distintas profundidades en una gama de colores de café a lila.

Ilustración 29 Vigésima quinta tomografía eléctrica



Fuente: Autor

4.4 Análisis e interpretación de Estratigrafía 3D

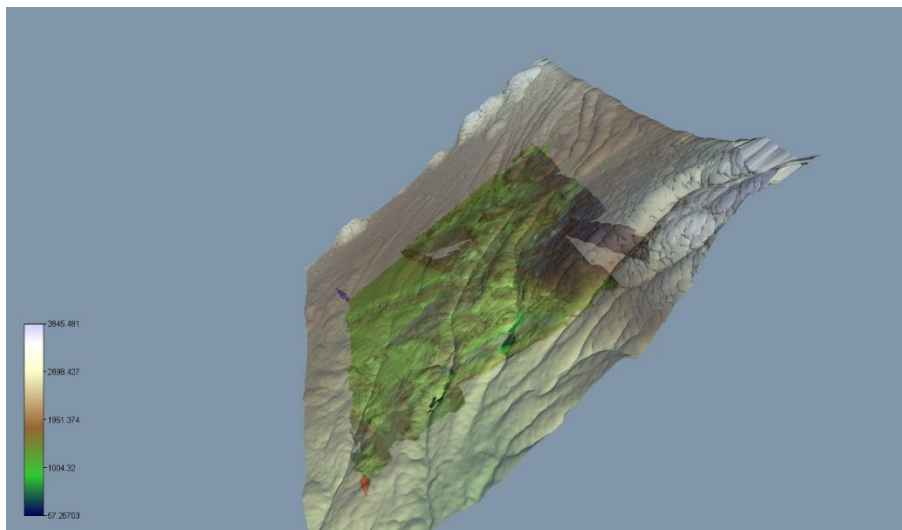
Al terminar de analizar e interpretar las tomografías eléctricas de resistividad se procedió a hacer un análisis en tres dimensiones (3D) para lo cual se utilizó el software Voxler 4, el mismo que codifica los datos de resistividad y mediante interpolación genera el modelo 3D.

El resultado se puede observar en la (Ilustración 30) en la cual se delimita diferentes zonas, perfiles o estratos internos del area de estudio, los suelos permeables, semi permeables, impermeables y rocas, los cuales componen diferentes zonas subterráneas, ademas, se puede apreciar un acuífero subterráneo el cual presenta una gama de colores de azul a celeste.

Finalmente, en la ilustración 31 se puede observar el rango de resistividad que interpola el software, el cual se encuentra en los rangos de 65.36 a 821.92 Ohm*m, así

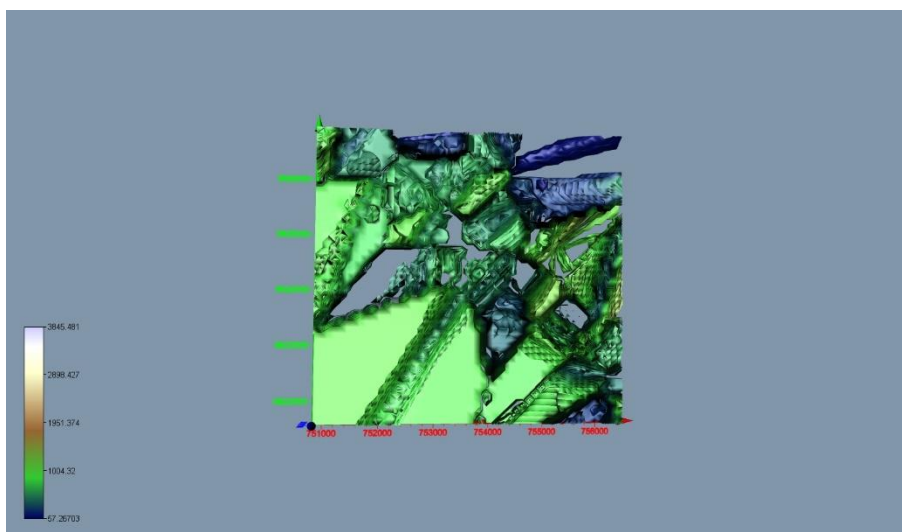
mismo se observa la altitud del terreno en el cual se trabajó, esta altitud va desde los 2659 a 3115 m.s.n.m, (Ilustración 30) estos datos fueron obtenidos mediante una ortofoto.

Ilustración 30 Modelamiento en tres dimensiones 3D zona completa del estudio



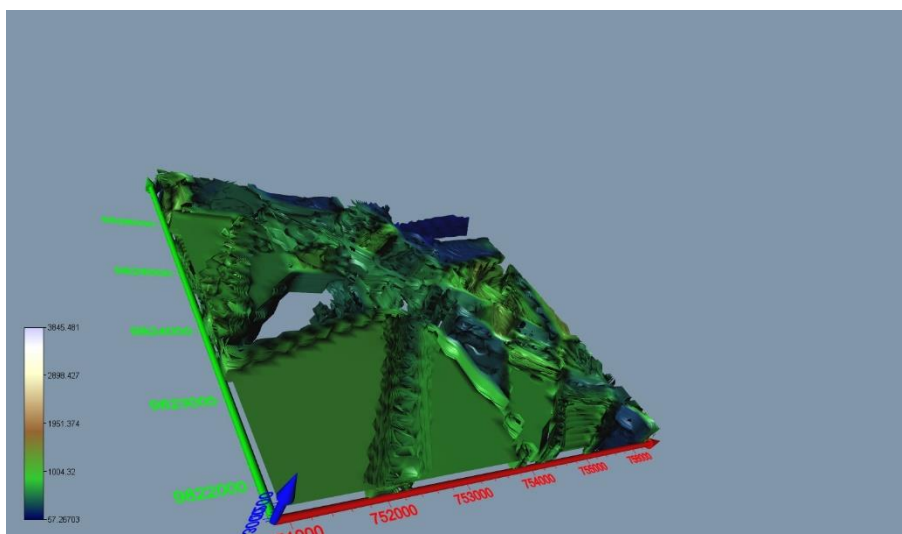
Fuente: Autor

Ilustración 31 Vista frontal de la Modelación tres dimensiones 3D corteza del estudio



Fuente: Autor

Ilustración 32 Modelamiento en tres dimensiones 3D vista lateral



Fuente: Autor

4.5 Potencial hidrogeológico

El potencial hidrogeológico y la conservación de acuíferos se determinaron mediante encuestas a diferentes moradores de influencia directa de la zona de estudio, en aspectos como: el origen de obtención del agua del sector, nombre de la entidad gestora que proporciona el agua, si cuentan con medidor de agua, pago por el consumo respectivo, entre otras interrogantes relevantes.

4.5.1 Resultados de la encuesta aplicada

Tabla 2 Análisis e Interpretación de las encuestas aplicadas.

N°	Pregunta	Análisis e Interpretación
1	¿Sabe usted de dónde se obtiene el agua para consumo de la parroquia?	Se observa en el (Anexo 3.1) el 95% de personas encuestadas identificaron que el agua destinada para su consumo se obtiene de vertientes naturales u ojos de agua, el 4% mencionaron que el agua provenía de pozos, mientras que, el 1% dijeron río, sin embargo, se observó que un pequeño porcentaje de encuestados desconocían la procedencia del agua y eran aquellos que vivían en el centro de San Andrés.
2	¿Conoce usted la/as fuente/es hídrica/as que abastecen a la parroquia? Si la respuesta es sí, especifique el nombre.	En el (Anexo 3.2) se muestra que el 60% de pobladores conocen el nombre de las vertientes que abastecen a sus viviendas en las que mencionaron Llío, Hacienda Balzayán, Aucán, Valentín Infante, el agua proveniente de estas fuentes son cloradas y entubadas para su consumo; Por otra parte, el 40% de la población desconocen la fuente hídrica que abastece a sus hogares.
3	¿Sabe usted quién	Mediante el (Anexo 3.3) se pudo evidenciar que un

	gestiona el agua para su parroquia?	59% del total de encuestados conocen a la entidad gestora que provee de agua a sus viviendas en la que mencionaron a la Junta Administradora de Agua ubicada en el centro de la parroquia, mientras que el 41% de personas manifestaron no conocen quien gestiona el agua. Es preocupante saber que las personas entre los 18 a 35 años que viven en el centro de San Andrés desconocen de esta entidad.
4	¿Cuántas horas al día dispone de agua para su hogar?	En el (Anexo 3.4) el 92% de personas aseguraron tener agua las 24 horas al día, las personas que respondieron este ítem en su mayoría eran pobladores de las comunidades rurales de San Andrés, el 6% seleccionaron 12 horas al día y 2% dijeron menor a 6 horas al día.
5	¿Usted dispone de un medidor de agua?	Se observa en el (Anexo 3.5) que el 98% de pobladores encuestados si poseen medidores de agua, mientras que el 2% mencionó no tener medidor debido a la ubicación y temporalidad de construcción de sus viviendas.
6	¿Paga usted algún valor económico por disponer de agua en su hogar? Si la respuesta es sí, especifique el valor	En los (Anexo 3.6) y (Anexo 3.7) el 100% de pobladores pagan un valor económico mensual por el consumo de este servicio básico, el valor económico varía dependiendo del consumo obtenido de los medidores de agua y se acercan a cancelar en la Junta Administradora de agua, los valores varían entre unos \$2,00 a \$7,00, mientras que las personas que no poseen medidor pagan un valor constante de \$2,00 al presidente de su comunidad.
7	¿El valor que usted paga por disponer de agua en su hogar como lo realiza?	
8	¿Conoce usted si se realiza algún tipo de tratamiento al agua después de su extracción? Si la respuesta es sí, conteste la siguiente pregunta.	En el (Anexo 3.8) se observa que el 93% de encuestados tenían conocimiento sobre el tipo de tratamiento que le daban al agua de consumo antes de que llegue a sus hogares. Sin embargo, el 7% desconocían del mismo. Se percibió que las personas que viven en las comunidades rurales de San Andrés conocían la procedencia del agua de consumo de sus hogares más que las personas que viven en el centro de la parroquia.
9	¿Cuál es el tipo de tratamiento que se le da al agua?	Mediante el (Anexo 3.9) se pudo evidenciar que el 93% de pobladores conocían que el tratamiento del agua era añadir cloro, el 2% mencionó que el agua pasaba por un filtro y el 3% dijeron otro sin especificarlo.
10	¿Sabe usted que es la contaminación del agua? Si la respuesta es sí,	Mediante el (Anexo 3.10) se pudo evidenciar que el 72% encuestados tenían conocimientos sobre este tema, mientras que el 28% no, es decir qué, de los 148

	conteste las siguientes preguntas.	encuestados tan solo 107 estaban al tanto del tema, las mismas que respondieron las siguientes preguntas.
11	¿Conoce usted de algún habitante de la parroquia que se haya enfermado por el consumo del agua?	En el (Anexo 3.11) se observa que el 86% de los pobladores no han escuchado sobre algún habitante enfermos por haber consumido el agua de consumo de su sector, sin embargo, el 14% de encuestados mencionó que sí. Muchos de los pobladores mencionaron que el agua es obtenida directamente de la vertiente, tratada y entubada y no posee mayor contaminación debido a que las vertientes no están expuestas a animales ni otros factores que puedan alterar su composición.
12	¿Según su opinión, cuál cree que es el agente que causa más contaminación?	En el (Anexo 3.12) el 78.6% de los encuestados afirman que el agente que causa mayor contaminación es el ser humano, por el accionar que este tiene en todos los ámbitos, considerando su mayor auge en la revolución industrial, en donde, se registra notablemente su desarrollo social y económico, originando ahí el cambio climático y el uso excesivo de los recursos naturales aumentando así la huella ecológica. Por otra parte, el 18,8% de los encuestados afirman que son las acciones de la agricultura las que mayormente contaminan, debido a que muchos de los agricultores utilizan fertilizantes e insecticidas que pueden llegar a contaminar el agua subterránea, superficial y los suelos. Finalmente, el 2.6% de encuestados afirman que la contaminación está en aumento por actividades de ganadería, debido a que en este sector trasladan al ganado cerca de las quebradas y vertientes contaminando así el agua, siendo uno de los mayores problemas en el sector de la Vertiente de la Hacienda de Balzayán.
13	¿Considera que sus actividades diarias ocasionan la contaminación del agua de la parroquia?	En el (Anexo 3.13) se determinó que el 61% de los pobladores si consideran que contaminan el agua con sus actividades diarias, sin embargo, el 39% dijeron que no creen contaminar el agua con sus actividades.
14	Para usted ¿Qué es conservar el agua?	Mediante el (Anexo 3.14) se pudo evidenciar que el 84% de los encuestados eligieron la opción de Consumo responsable del agua, el 12% fue reducir el uso del agua y el 4% eligieron reutilizar el agua. La mayoría de los encuestados mencionaron no haber recibido alguna charla o capacitación sobre el agua y manifestaron que

		es un tema de gran importancia ya que el agua es un recurso finito.
15	¿Considera usted que el uso racional y ahorro del agua es?	En el (Anexo 3.15) el 97% de pobladores dijeron que el uso racional y ahorro del agua es muy importante ya que en algún momento este recurso podría acabarse, el 2% mencionaron medianamente importante y el 1% nada importante, esta opción puede deberse a que en la parroquia de San Andrés poseen gran variedad de vertientes naturales a disposición de los pobladores, sin embargo, muchos de ellos no son conscientes de la carencia de este recurso qué podría presentarse en algún momento.
16	¿Le preocupa a usted la disponibilidad de agua en el futuro?	En el (Anexo 3.16) el 97% de personas si les preocupa la disponibilidad de agua en el futuro, mientras que el 3% dijeron que no.
17	¿Ha recibido algún tipo de capacitación con respecto a la conservación del agua?	Como se evidencia en el (Anexo 3.17) el 53% de los encuestados no han recibido capacitaciones de este tema, por este motivo la mayoría de ellos no entienden la importancia de conservar y ahorrar el agua, los moradores del sector dijeron que estarían dispuestos a asistir y participar en todo lo que se requiera para ayudar a preservar este recurso hídrico. Por otra parte, el 47% de encuestados sí han recibido capacitaciones del mencionado tema.
18	¿Le gustaría recibir capacitación o participación en la implementación de alguna medida para la conservación del agua?	En el (Anexo 3.18) se evidencia como el 96% de encuestados afirman estar dispuestos a acudir a charlas de capacitación sobre medidas de conservación de los recursos hídricos, pues comentan la importancia de conocer como preservar estos recursos y como evitar contaminarlos, pues son conscientes que el buen accionar disminuiría su desperdicio notablemente evidenciando así menos cortes o falta de este. Sin embargo, el 4% restante de encuestados no están dispuestos a asistir a este tipo de eventos pues lo consideran una pérdida de tiempo.
19	¿Está usted de acuerdo con que las personas que desperdicien el agua paguen alguna multa?	En el (Anexo 3.19) se evidencia como el 93% de encuestados afirman que el mal accionar de los recursos debe ser multados con una sanción monetaria que regule el mal uso del recurso hídrico en dos primeras instancias y en caso de no acceder a las medidas regulatorias cortarle definitivamente este servicio, pues mencionan ser conscientes del abastecimiento que tiene la zona de estudio por lo que no es pertinente que otros

		habitantes hagan mal uso de esta. El restante 7% de encuestados se niegan pagar un costo adicional en caso de que alguien desperdicie el agua pues ellos afirman que no existe escases de este recurso.
20	20. ¿Estaría usted dispuesto a compartir agua con otros sectores vecinos si se diese la oportunidad?	En el (Anexo 3.20) se observa que el 76% de pobladores de la comunidad acepta compartir el recurso hídrico con comunidades aledañas, ya que son conscientes de la escasez que suele existir en la actualidad. Por otra parte, el 24% de los pobladores no están de acuerdo con la idea de compartir el agua que poseen, puesto que afirman que en el transcurso del tiempo el agua no llegaría a dotar de la misma manera que en la actualidad a los habitantes de la comunidad, sin mencionar que se asumiría una inversión económica por parte de la comunidad que provee.

Nota. Los cuadros estadísticos con porcentajes mencionados en la tabla 2 se encuentran en el apartado de anexos

4.6 Medidas de Conservación de las Aguas Subterráneas.

El área de estudio se encuentra localizada en la parroquia San Andrés ubicada en la sierra central del país, en una pequeña meseta andina situada al noroeste del cantón Riobamba, las principales actividades productivas son la agricultura y ganadería que fundamentalmente se desarrolla en las comunidades, por lo que presenta diferentes tipos de suelos, por lo tanto, diversas coberturas vegetales, entre las que se determinó arcillas, arenas, limos, rocas ígneas, rocas metamórficas, entre otros.

Para una óptima conservación de los acuíferos se exponen las siguientes alternativas:

Distanciar las actividades agrícolas y ganaderas de las zonas cercanas donde se observa la presencia de vertientes u ojos de agua, como es el caso en la parte frontal a la Hacienda Balsayán en la captación de agua, la misma que no ha recibido mantenimiento por lo que se encuentra, visualmente muy contaminada por la afluencia de animales, finalmente en las diferentes tomografías eléctricas de resistividad que se vio anteriormente, podemos decir que existen diferentes zonas en las cuales presenta un alto contenido de agua subterránea.

Limitar el crecimiento agrícola, ya que las malas prácticas agrícolas producidas principalmente por los agroquímicos, perjudica al suelo, degradando la calidad del suelo, reducción de la biodiversidad y por ende de la materia orgánica, finalmente la erosión del suelo, por la eliminación de la cubierta vegetal. Por estas razones, podemos decir que es un foco de contaminación para el acuífero que existe en el área de estudio, así mismo la ganadería es una actividad muy contaminante al momento de hablar de aguas subterráneas, esto se debe a que el pastoreo de ganado ya sea ovino, bobino, caprino, porcino, entre otras; contribuyen a la compactación del suelo, lo que impide la infiltración de agua

superficial hacia los acuíferos, así mismo las secreciones del ganado en sus heces son la principal fuente de contaminación tanto biológica, microbiológica y parasitaria.

Para el cumplimiento y buen desarrollo de este proyecto de investigación se recomienda la realización de una barrera ecológica alrededor de las nuevas fuentes de agua que se podrán crear después de realizada esta investigación, la cual impide el ingreso de animales o personas que podrían generar actividades antrópicas que sea foco de contaminación, la barrera ecológica se recomienda que se realice con flora nativa o presente del lugar por ejemplo: Vegetación arbórea: Quishuar, pino, laurel, morro, marco, chilca, etc.; Vegetación arbustiva: Frailejón, pumamaqui, achupalla, retama, mortiñocarrizo, sauco, sigse, otras, las mismas que con o sin flor, estas plantas de exterior son resistentes a las altas temperaturas y siempre atención al cuidado de su drenaje.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las tomografías eléctricas que se realizaron en el área de estudio contribuyen a identificar los distintos perfiles presentes en el subsuelo, también ayudan a reconocer los diferentes materiales o cuerpos, como arenas, limos, arcillas, acuíferos subterráneos, zonas permeables e impermeables, acuíferos confinados, semiconfinados, material rocoso, etc., esta identificación se logra realizar tomando en consideración la resistividad de cada uno de los materiales detectados por el equipo SYSCAL, con la ayuda de este equipo se consigue efectuar un análisis completo de toda la litología de la zona en cuestión.

Se pudo identificar la Geología Regional y Local de la zona de estudio del sector de San Andrés, el mismo que se encuentra sobre depósitos de avalancha de escombros proveniente del volcán Chimborazo, conformando su geología con suelos de tipo inceptisol los mismos que se caracterizan por un débil desarrollo de horizontes, origen volcánico reciente y ocurrencia típica en zonas recientemente deglaciadas.

El modelamiento de las tomografías en 2D realizadas con el software Res2DInv, permitió interpretar que en la zona de estudio se localiza un acuífero semiconfinado, a partir de los 40 metros hasta los 60 metros de profundidad y rodeado de material litológico semipermeable de acuerdo con los valores de resistividad presentados; se concluyó que las zonas permeables o zonas contenidas de agua subterránea tienen resistividades entre los 5.43 hasta los 208 Ohm*m, las zonas semipermeables o intermedias tienen un rango entre 208 a 994 Ohm*m y finalmente, las zonas rocosas o impermeables con resistividades desde los 994 a 3752 Ohm*m.

Mediante el modelamiento 3D, el cual fue ejecutado por el software Voxler 4, se logró visualizar de mejor manera el acuífero semiconfinado que se encontraba en la zona, los diferentes materiales presentes y su ubicación, por lo que es factible implementar medidas de conservación para que los habitantes no contaminen a futuro este cuerpo de agua.

En lo que refiere al potencial hidrogeológico se logró identificar mediante el método de encuestas, que es indispensable implementar medidas de conservación de las aguas subterráneas para el futuro de la comunidad, siendo un enfoque importante la contaminación por actividades como la agricultura y ganadería del sector, evidenciándose en la actualidad la contaminación de la fuente hídrica de la Hacienda Balzayán, por eso es muy importante las consideraciones que se proponen en las medidas de conservación de las aguas subterráneas del sector, ya que la mayoría de los pobladores tiene una falta de conocimiento, para un uso y aprovechamiento sostenible para los diferentes años y generaciones que se desarrollen a futuro en esta localidad.

5.2 Recomendaciones

Para lograr captar una mayor extensión de terreno tanto horizontal como verticalmente es importante adquirir una longitud más grande de cable y la adquisición de nuevos electrodos, para que, así al momento de procesar los datos en el software Res2D tendremos una mejor resolución de las tomografías.

La modelación tridimensional desempeña un papel esencial en la investigación, ya que nos suministra información fundamental acerca de la estructura subterránea de la zona, lo que nos permite obtener una comprensión detallada de los materiales presentes y la posible existencia de un acuífero subterráneo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, S., & Basantes, K. (2022). *Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las principales quebradas de Guano empleando distintos modelos hidrológicos e hidráulicos*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10021>
- Arango, Á. (2013). Crisis mundial del agua. *Scielo*, vol.8 (no. [https://doi.org/ISSN 1909-0455](https://doi.org/ISSN%201909-0455))
- Armstrong, D. (2022). La importancia de las aguas subterráneas. *The Groundwater Project*, 3.
- Auge, M. (2014). Agua subterránea, deterioro de calidad y reserva. *Edición Del Autor*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15908>
- Azizan, F. A., Zawawi, M. A. M., & Abdullah, A. F. (2015). Development of 3D model view of potential groundwater aquifer for irrigation using geophysical technique. *Jurnal Teknologi*, 76(15), 125–130. <https://doi.org/10.11113/jt.v76.5963>
- Betancur, T. (2021). Potencial y perspectivas de exploración hidrogeológica en Antioquia según criterios litoestructurales. *Sociedad Colombiana de Geología*. <https://sociedadcolombianadageologia.org/potencial-y-perspectivas-de-exploracion-hidrogeologica-en-antioquia-segun-criterios-litoestructurales/>
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *INTRODUCCIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA DEL ECUADOR INAMHI*. 2, 1–128. www.inamhi.gob.ec
- Cadena, L. (2022). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR “LANGOS, SAN ANDRÉS”, MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD*. 1–52.
- Camacho, Christian Orlando; Astudillo, V. M. (2020). Evaluación del aprovechamiento empírico del agua subterránea somera del cantón Morona-Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*.
- Centeno, M. (2015). *Análisis hidrológico–hidráulico para los puentes en zonas de inundación generadas por el proyecto “Pacalori.”* Tesis Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Civil.
- Cerón, L., Sarria, J., Torres, J., & Soto, J. (2021). Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Scielo*, 47–56.
- Chidichimo, F., Mendoza, B., De Biase, M., Catelan, P., Straface, S., & Di Gregorio, S. (2018). Hydrogeological modeling of the groundwater recharge feeding the Chambo aquifer, Ecuador. *In AIP Conference Proceedings(Vol. 2022, No. 1, p. 020003)*. AIP Publishing LLC.
- CMPLab. (2021). Tomografía Eléctrica: fundamentos y aplicaciones. *Centro Universitario de Mérida.*, 1–4.
- Cuenca, J., Gallardo, K., & Domínguez, I. (2021). Percepción social de la calidad y servicio de agua potable en la ciudad de El Coca, Orellana – Ecuador. *Green World Journal*, 1–15.
- Famiglietti, J., & Ferguson, G. (2021). GLOBAL GROUNDWATER WELLS AT RISK OF RUNNING DRY. *Science*, 418–421.
- Fundación Ayuda en Acción. (2017). *Agua potable en Ecuador: imprescindible para el desarrollo rural*. Ayuda En Acción. <https://ayudaenaccion.org/ong/proyectos/america/agua-potable-ecuador/#:~:text=El agua potable en Ecuador,tiene acceso a este recurso.>
- Galárraga, J. L. (2018). *Estudio geológico y tectono-estratigráfico del relleno volcano-sedimentario de la ciudad de Ibarra y sus alrededores*.
- Geoelec. (2017). *Software RES2DINV. Eléctricos y Electromagéticos*.

- <https://www.geoelec.com.mx/software-RES2DINV.html>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Andrés. (2019a). *PROCESO DE ACTUALIZACION DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN ANDRÉS*. <http://sanandres.gob.ec/wp-content/uploads/2021/04/PDOT-SAN-ANDRES-2019-2023.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Andrés. (2019b). *PROCESO DE ACTUALIZACION DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN ANDRÉS*. <http://sanandres.gob.ec/wp-content/uploads/2021/04/PDOT-SAN-ANDRES-2019-2023.pdf>
- Grijalva, M. (2022). *Geoelectrica*.
- Guanoquiza, L., & Antúnez, A. (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos del Ecuador. *Revista Ciencias Sociales y Económicas*.
- Guillard, M., Navarro, O., & Fleury-Bahi, G. (2019). Flooding experience and assessment of climate change: implication of psychological distance, risk perception and place attachment / Experiencia de inundaciones y evaluación del cambio climático: implicaciones de la distancia psicológica, la percepción de riesgo y el apego al lugar. *Psychology*, 10(3), 287–312. <https://doi.org/10.1080/21711976.2019.1622347>
- Herrera, J. (2018). Tomografías eléctricas. *En Tomografías Eléctricas.*, (Vol. 1-2). <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/07.pdf?sequence=8>
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Mayorga, M. (2020). Modelamiento Geofísico Tridimensional del Sistema de Bombeo de Llio, EP EMAPAR. *Universidad Nacional de Chimborazo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7011>
- Molina, J. (2022). ESTRATIGRAFÍA Y TIEMPO GEOLÓGICO: Aspectos fundamentales. *Universidad de Jaén*, 10. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ujaen.es/gobierno/rectorado/sites/gobierno_rectorado/files/uploads/Lección inaugural 2022-2023_completo.pdf](https://www.ujaen.es/gobierno/rectorado/sites/gobierno_rectorado/files/uploads/Lección%20inaugural%202022-2023_completo.pdf)
- Muñoz, M. (2016). TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA. 38, 4. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/07.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/07.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- Ordoñez, J. (2014). Aguas Subterráneas — Acuíferos. *Global Water Partnership South America*, 1–44.
- Patra, H. (2016). *Groundwater Prospecting and Management*.
- Roldán-Guevara, J., & Rossello, E. A. (2022). The gas potential of the Zapallal Formation in the Curumuy area (Sechura basin, Peru) and the interference of a hydrogeological well. *Boletín de Geología*, 44(3), 119–142. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n3-2022005>
- Salazar, D. (2023). *Simulación de inundaciones utilizando geotecnologías para gestionar el uso y ocupación del suelo, en la Quebrada de Cunduana cantón Riobamba-Chimborazo* [Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10567>
- Salguero, D. A. (2017). Levantamiento geológico-estructural de la zona comprendida por la Hoja Topográfica de Guano Escala 1: 50000, Provincia de Chimborazo. *Escuela Politécnica Nacional. Proyecto de Titulación. Quito, Ecuador.*, 244.
- Sánchez, V. (2023). Estudio Hidrogeológico Del Sector “Caliata” Mediante Tomografías Eléctricas De Resistividad. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 1–105.
- Silva, I. D. C. O., & Campos, J. C. V. (2018). Potencial hidrogeológico da cidade de uberaba – mg. *XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Figura 2*, 2–5.

- Tamay, J. V. (2018). *Estructura de cuencas intramontañosas del sur de Ecuador en relación con la tectónica de la Cordillera de los Andes a partir de datos geofísicos y geológicos* [Tesis Univ. Granada.]. <http://hdl.handle.net/10481/51634>
- Técnicas Geofísicas SL. (2017). *Estudio con Tomografía Eléctrica (II)*. <https://buscaraguasubterranea.com/agua-subterranea-tomografia-electrica/>
- Tenelema, V. (2017). ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO DEL ACUÍFERO DEL RÍO CHAMBO MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS Y TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 66.
- Valcarce, R. M., Suarez, O., Rodriguez, W., & Vega, M. (2021). Aplicación de la minería de datos a la evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 15(2), 1–23. <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v29n3/0718-3305-ingeniare-29-03-517.pdf>
- Valdiviezo, P. (2013). DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PARROQUIA SAN ANDRÉS DEL CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3220/1/96T00224.pdf>
- Weinzettel, P., Dietrich, S., Varni, M., & Sierra, L. (2017). *INVESTIGACIÓN HIDROGEOLOGICA EN UN VALLE SERRANO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOELÉCTRICOS*. 41(2), 13.
- Williams, S. (2022). Aguas subterráneas: nuestro recurso oculto más valioso. *The Nature Conservancy*, 5.
- Yasir, S. F., Jani, J., & Mukri, M. (2019). A dataset of visualization methods to assessing soil profile using RES2DINV and VOXLER software. *Data in Brief*, 24, 103821. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103821>
- Zúñiga, M. (2019). *Análisis y diagnóstico de la red del sistema de Agua Potable de la cabecera cantonal de Guano*. <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://riunet.upv.es:443/bitstream/handle/10251/118836/Zúñiga+-+Análisis+y+diagnóstico+de+la+red+del+sistema+de+Agua+Potable+de+la+cabecera+cantonal+del....pdf?sequence%3D2&isAllowed=y>

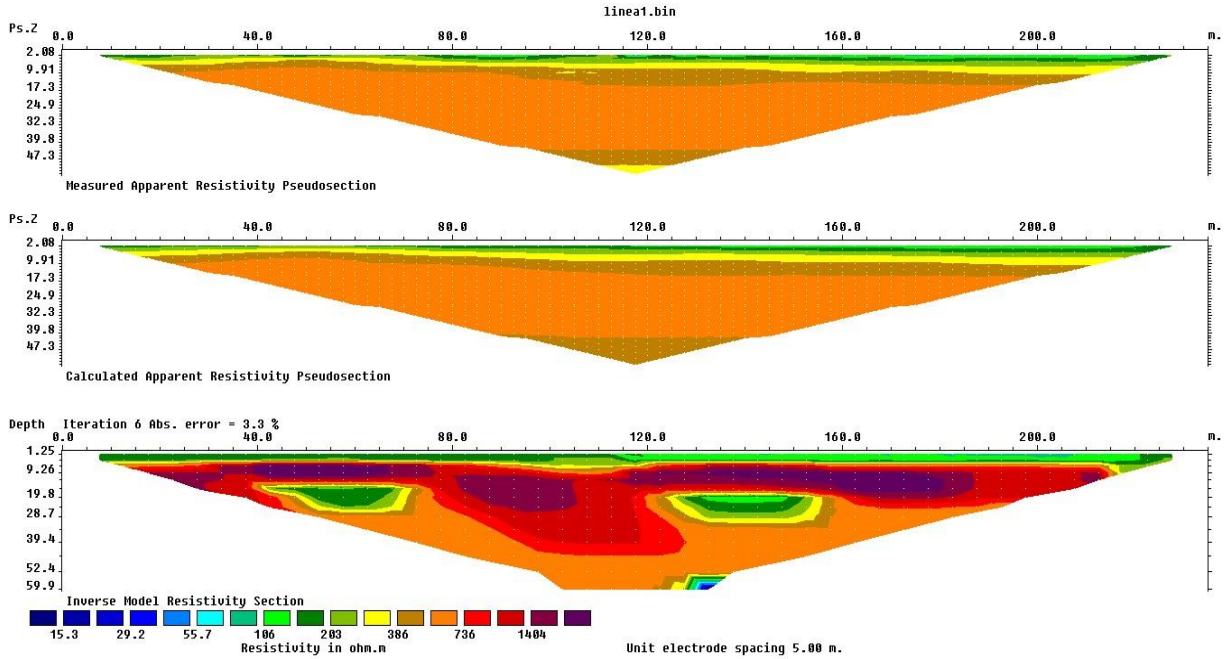
ANEXOS

Anexo 1. Tomografías eléctricas de resistividad

Nota. Se observa los diferentes procesamientos que realiza el software Res2Dinv y las diferentes zonas que se encuentran en el subsuelo de la zona de estudio.

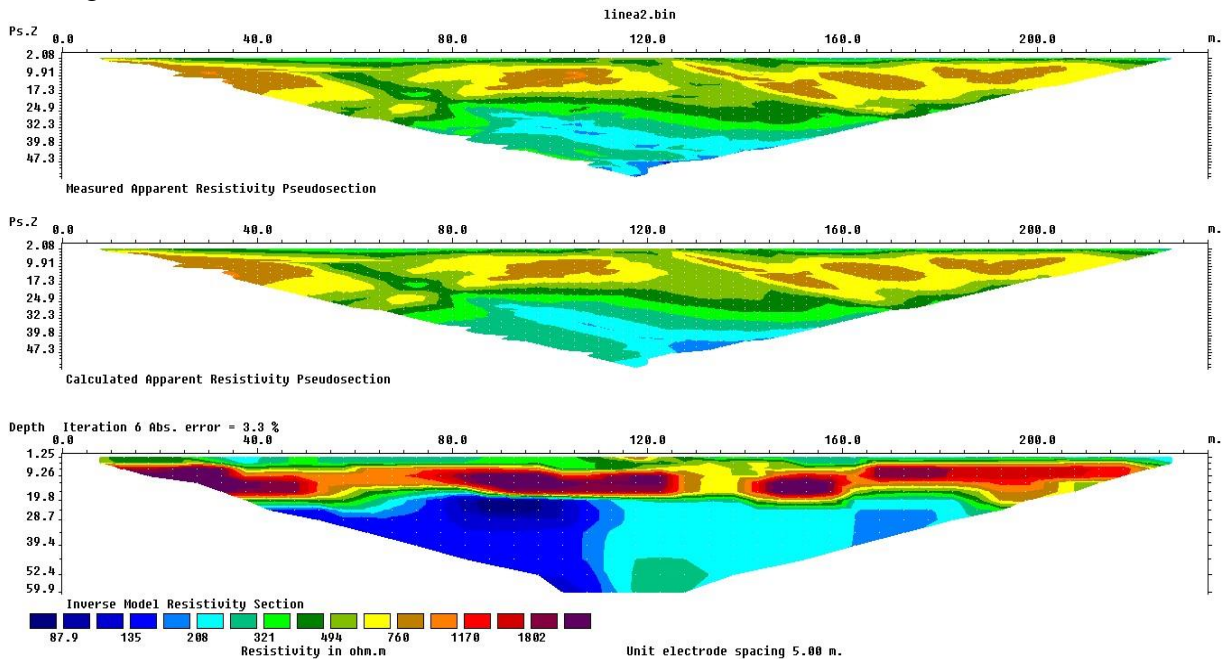
Anexo 1.1

Tomografía línea N°1



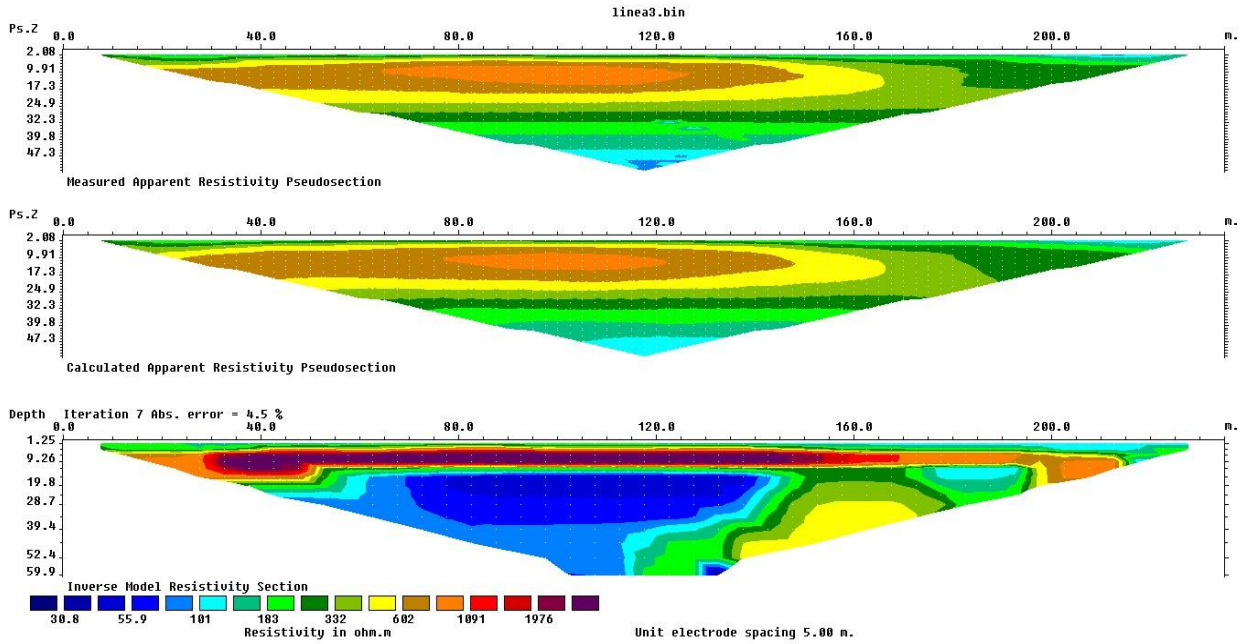
Anexo 1.2

Tomografía línea N°2



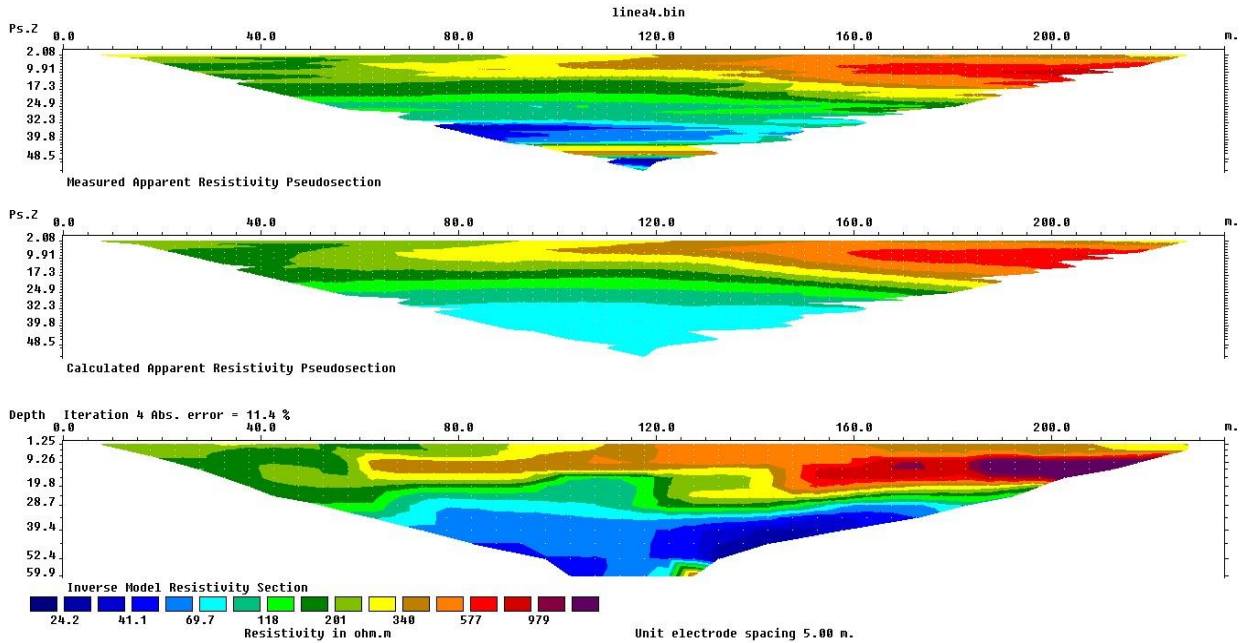
Anexo 1.3

Tomografía línea N°3



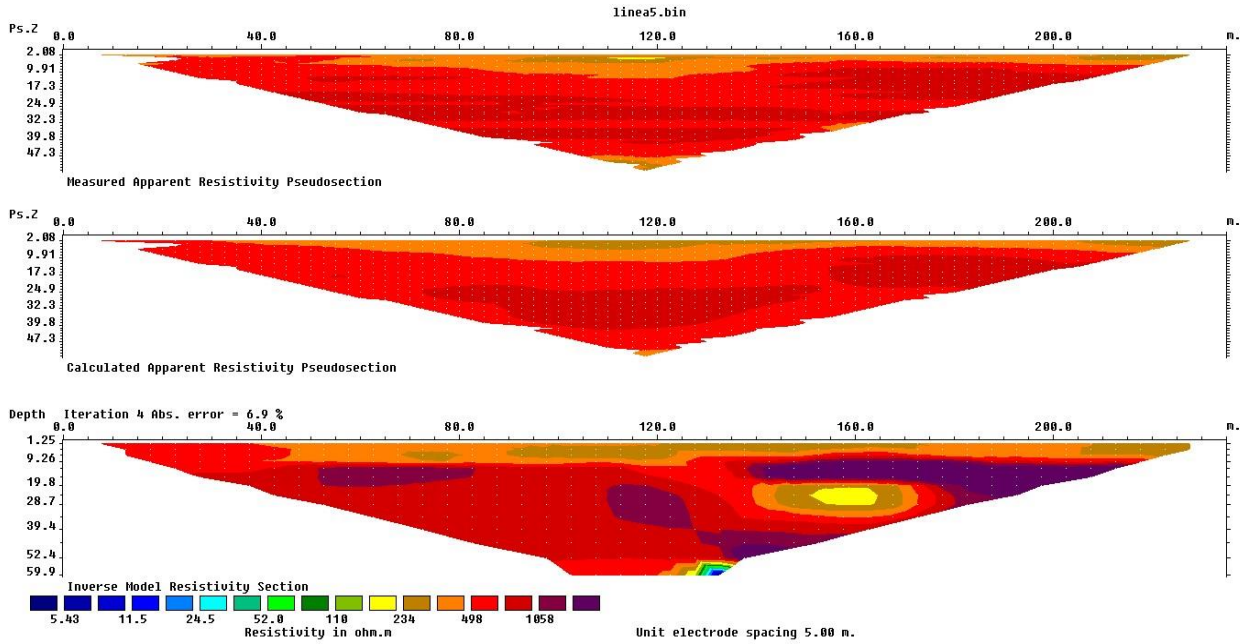
Anexo 1.4

Tomografía línea N°4



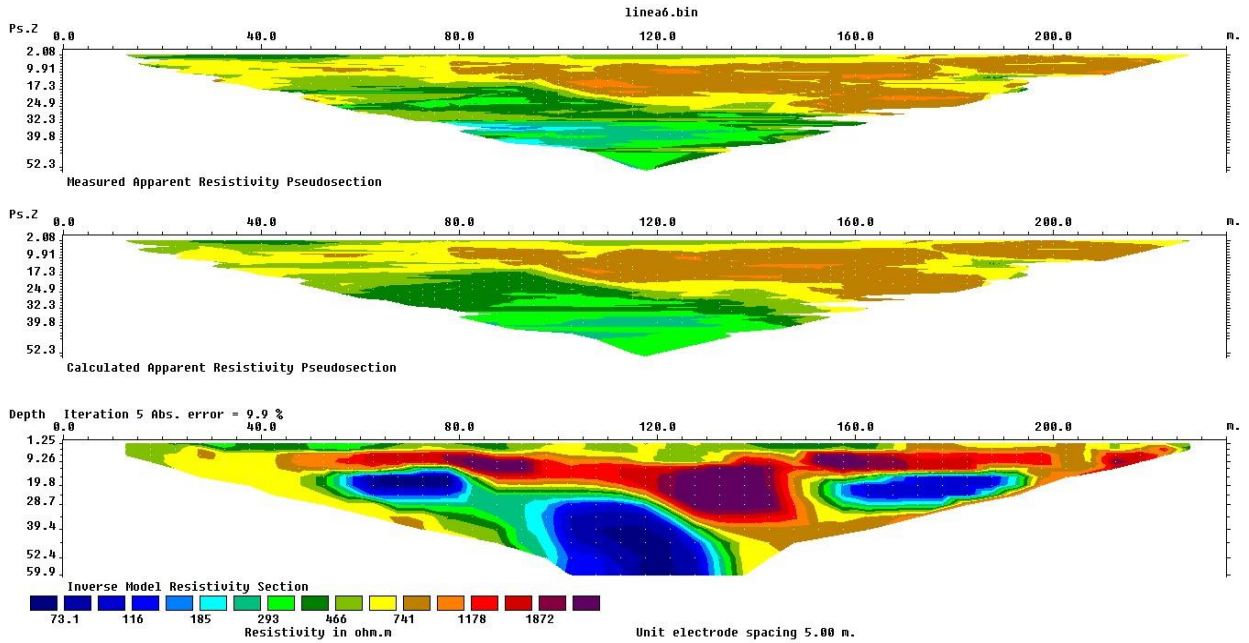
Anexo 1.5

Tomografía línea N°5



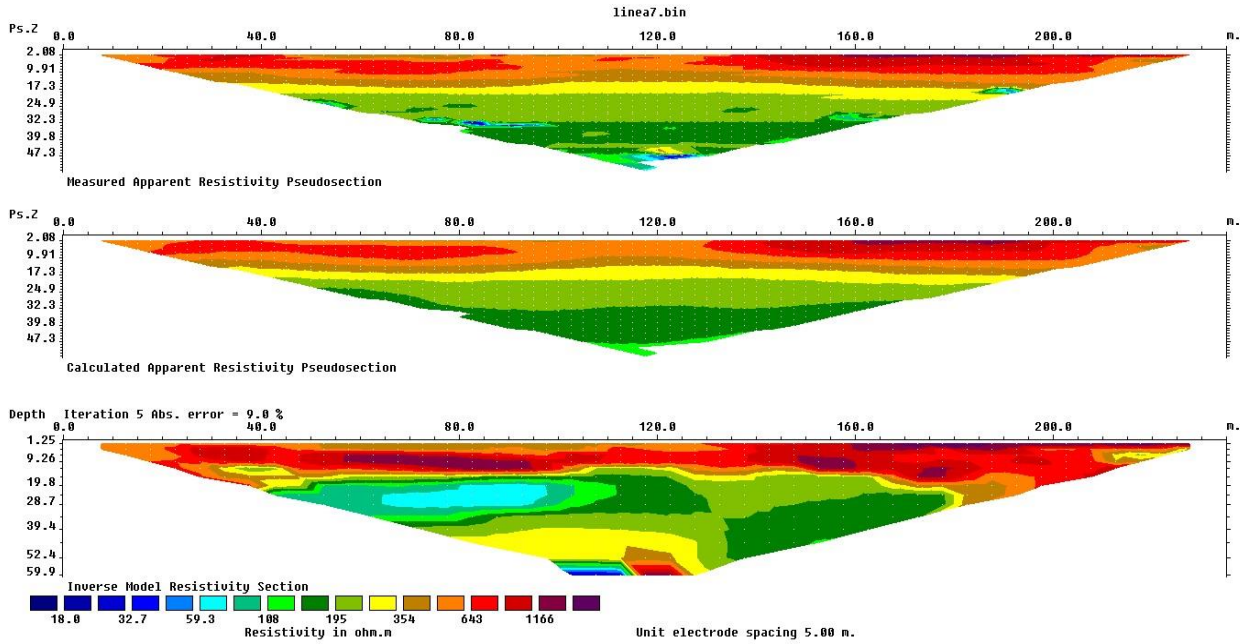
Anexo 1.6

Tomografía línea N°6



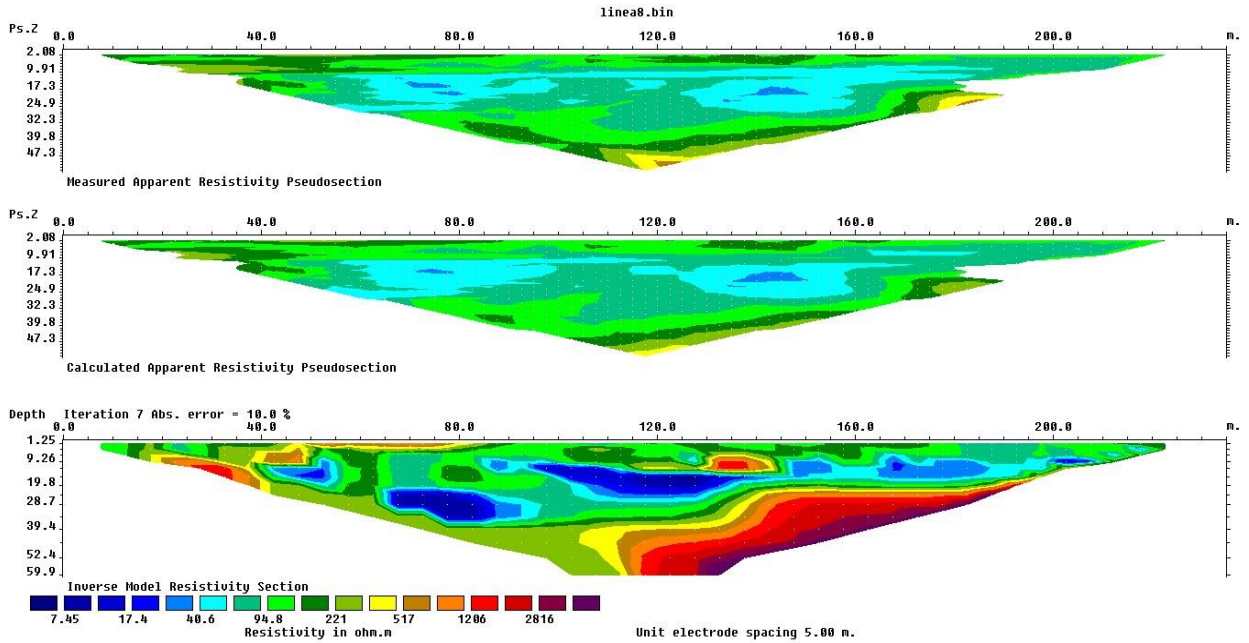
Anexo 1.7

Tomografía línea N°7



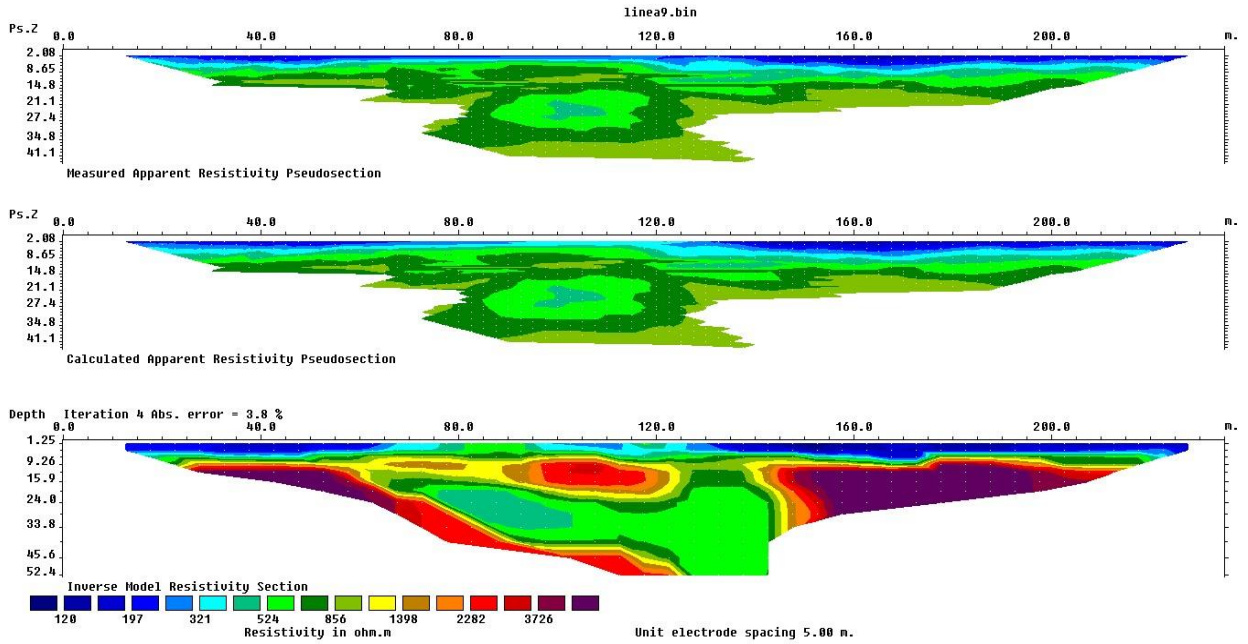
Anexo 1.8

Tomografía línea N°8



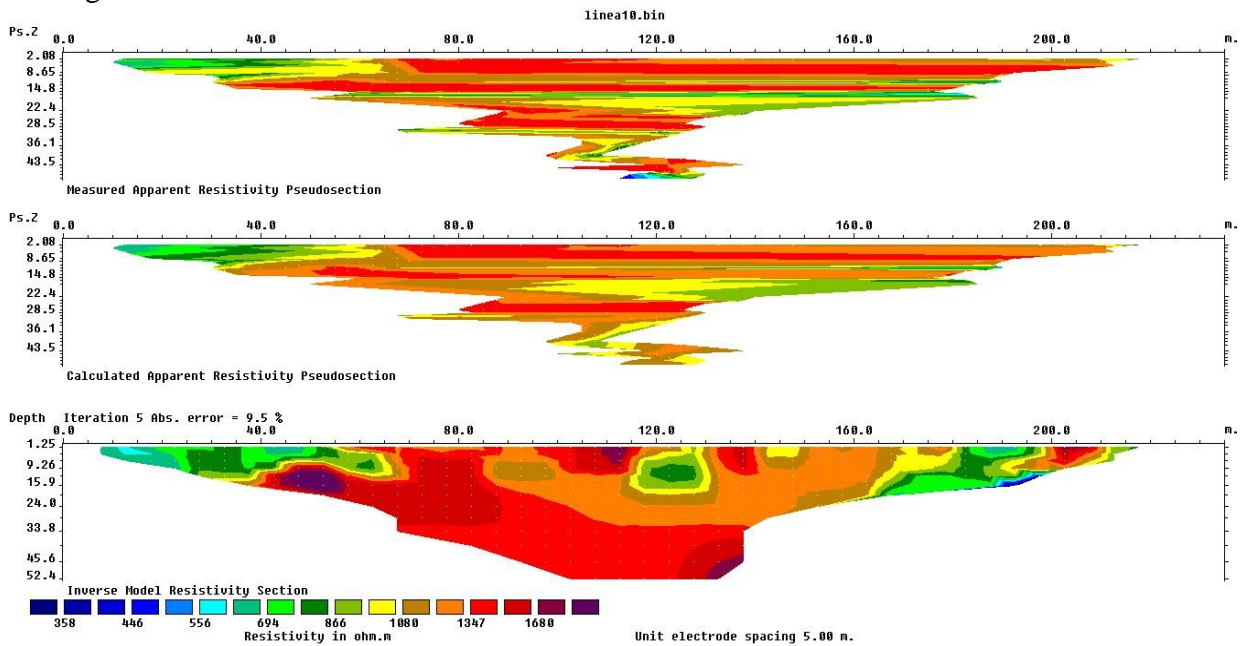
Anexo 1.9

Tomografía línea N°9



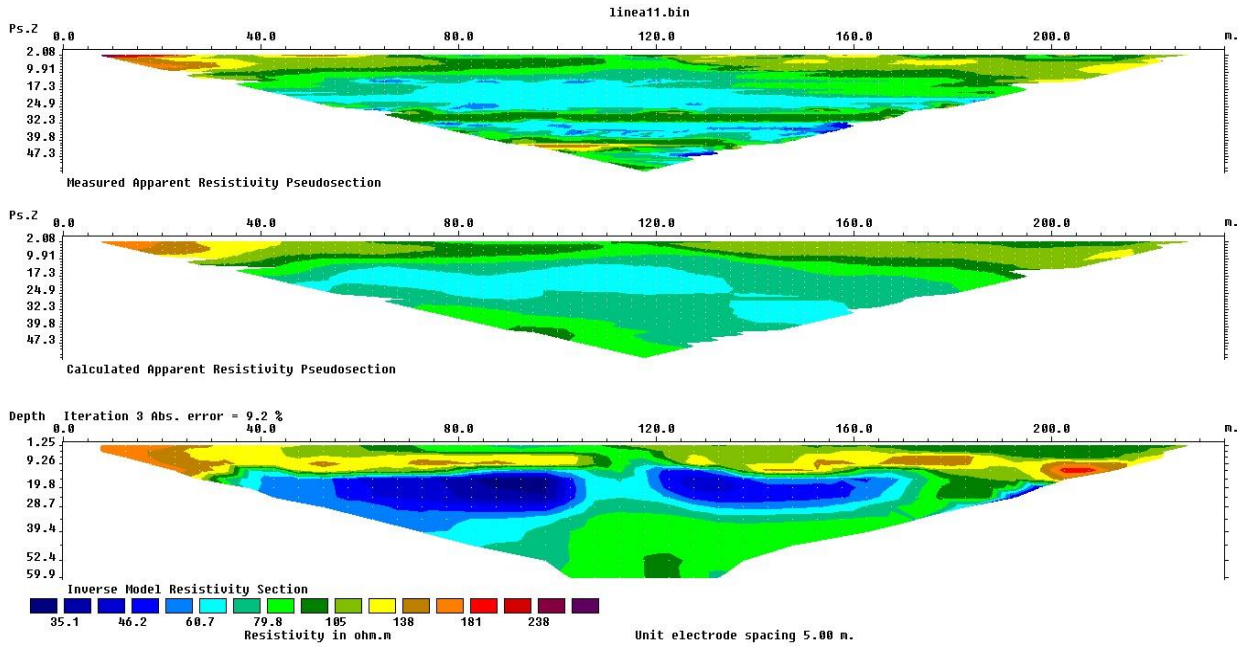
Anexo 1.10

Tomografía línea N°10



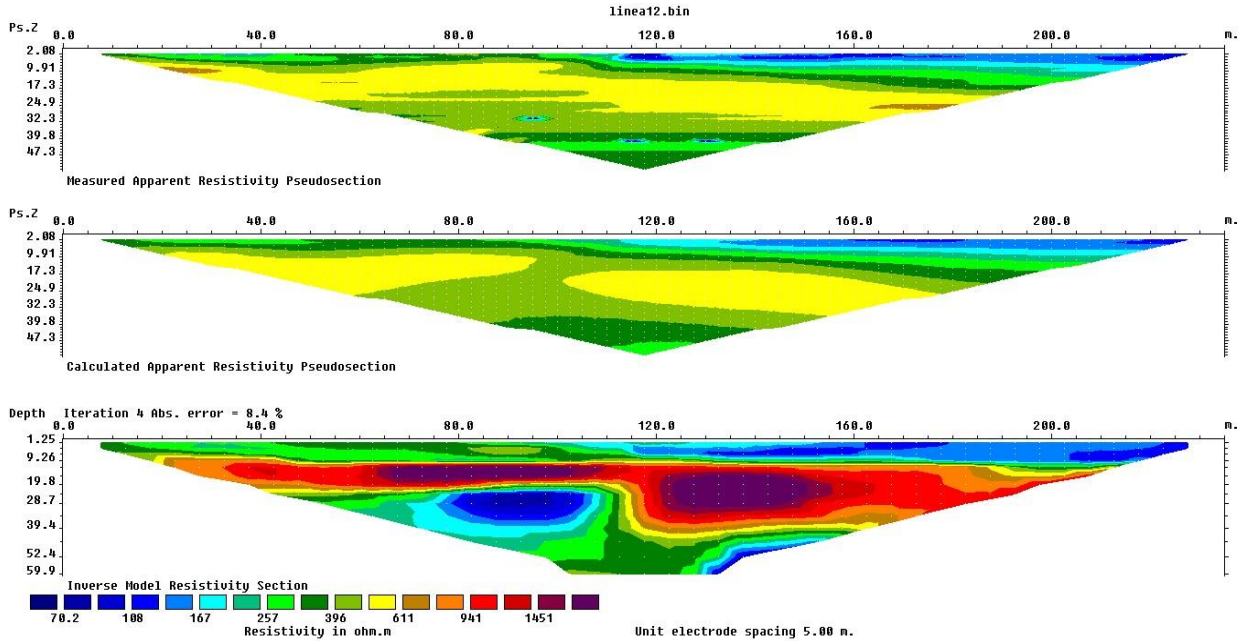
Anexo 1.11

Tomografía línea N°11



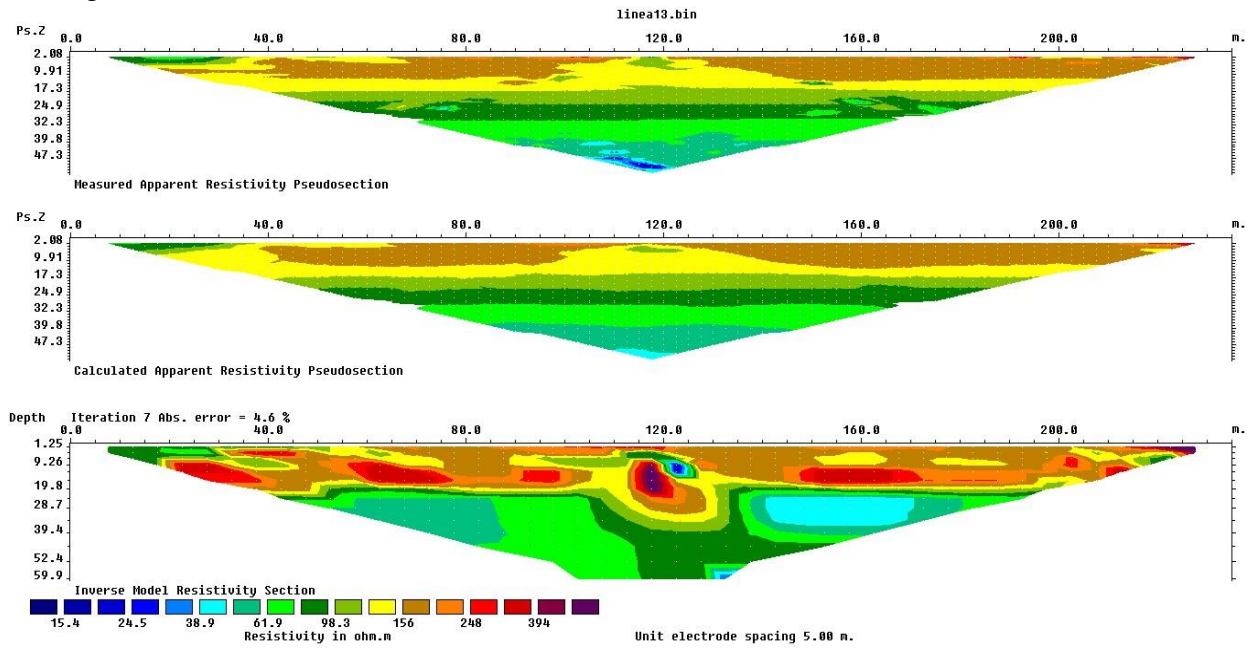
Anexo 1.12

Tomografía línea N°12



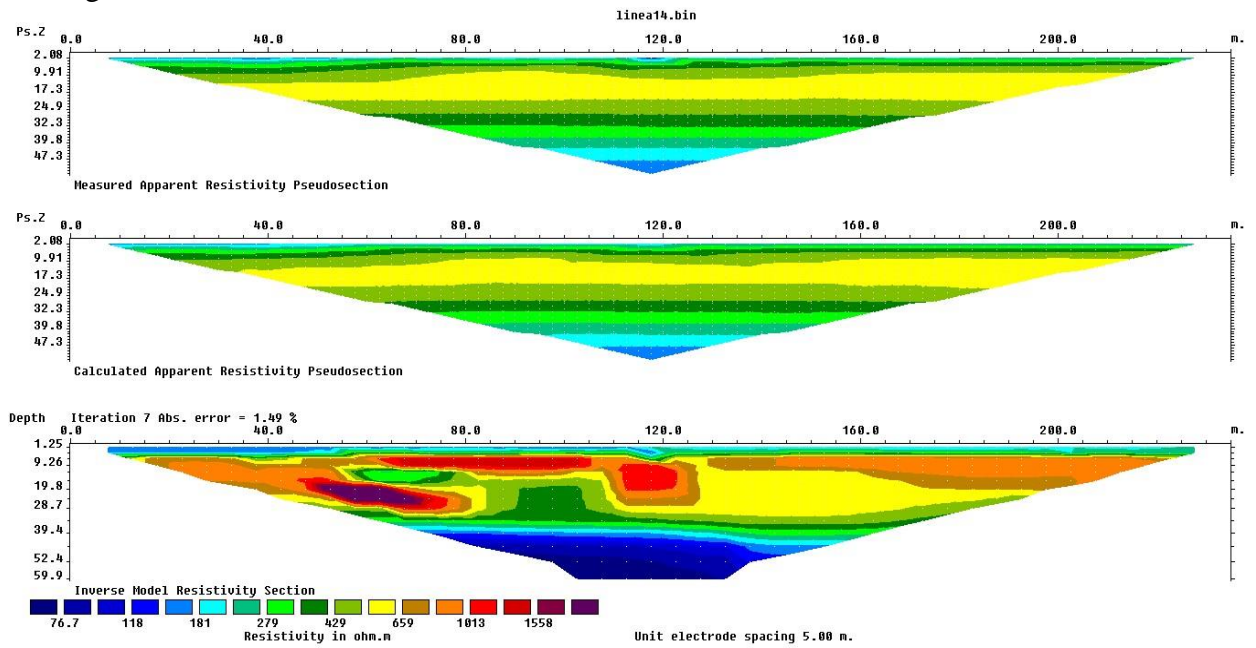
Anexo 1.13

Tomografía línea N°13



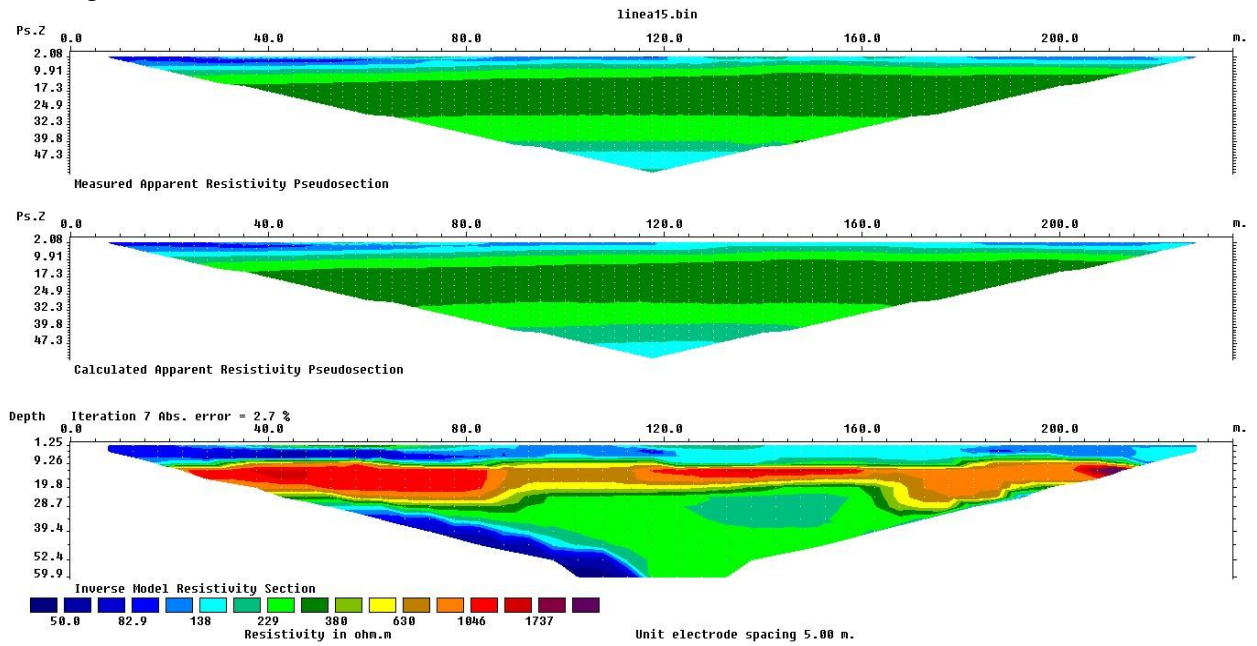
Anexo 1.14

Tomografía línea N°14



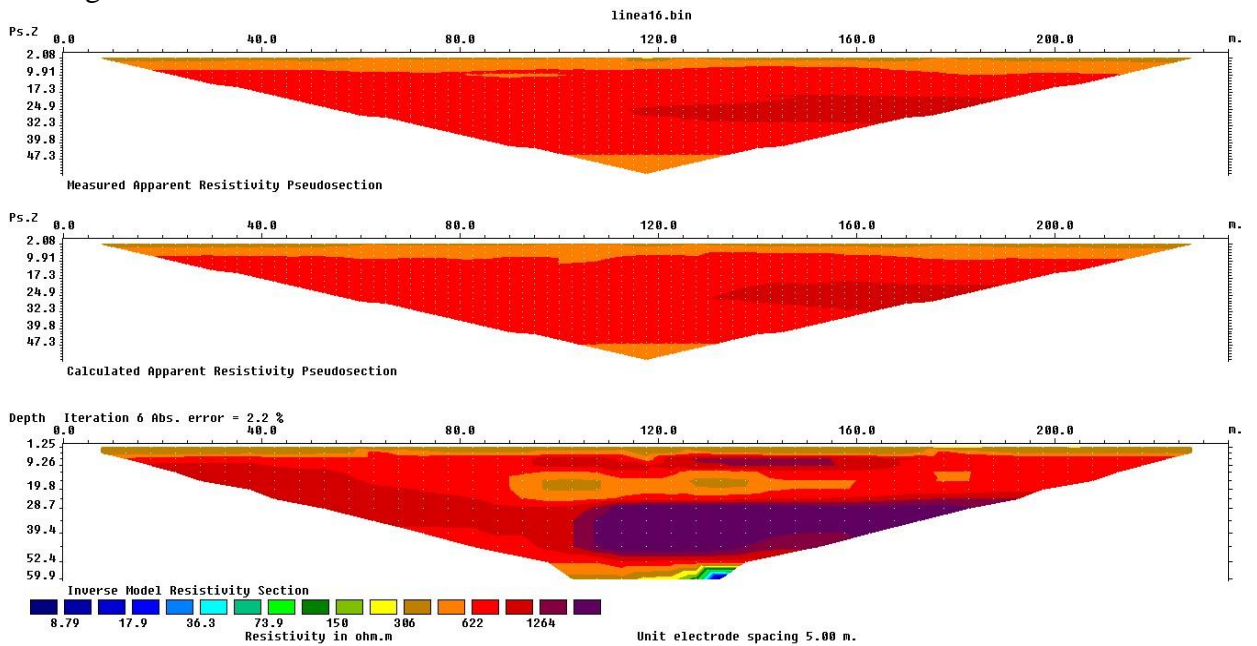
Anexo 1.15

Tomografía línea N°15



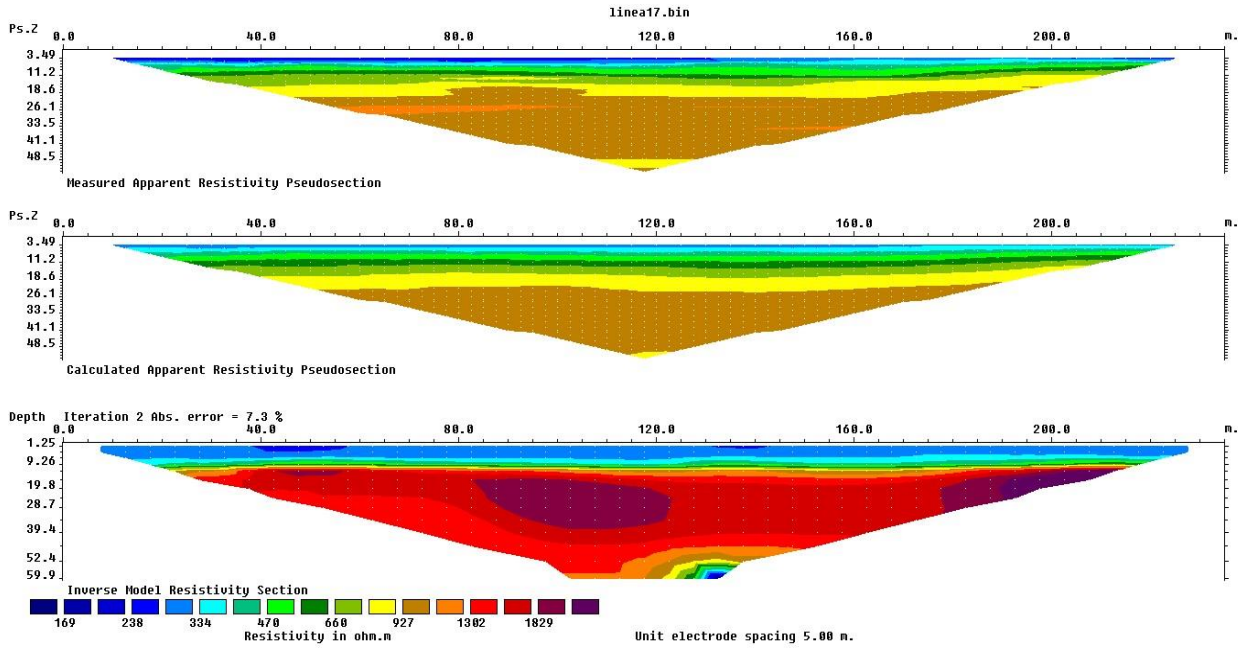
Anexo 1.16

Tomografía línea N°16



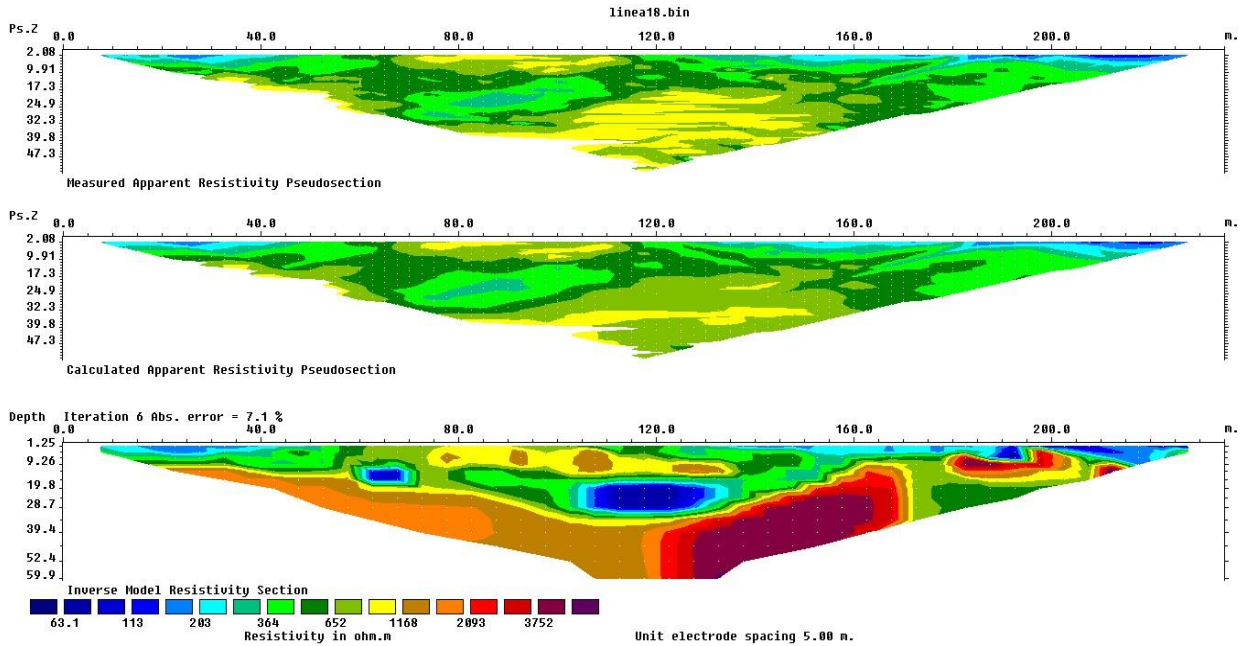
Anexo 1.17

Tomografía línea N°17



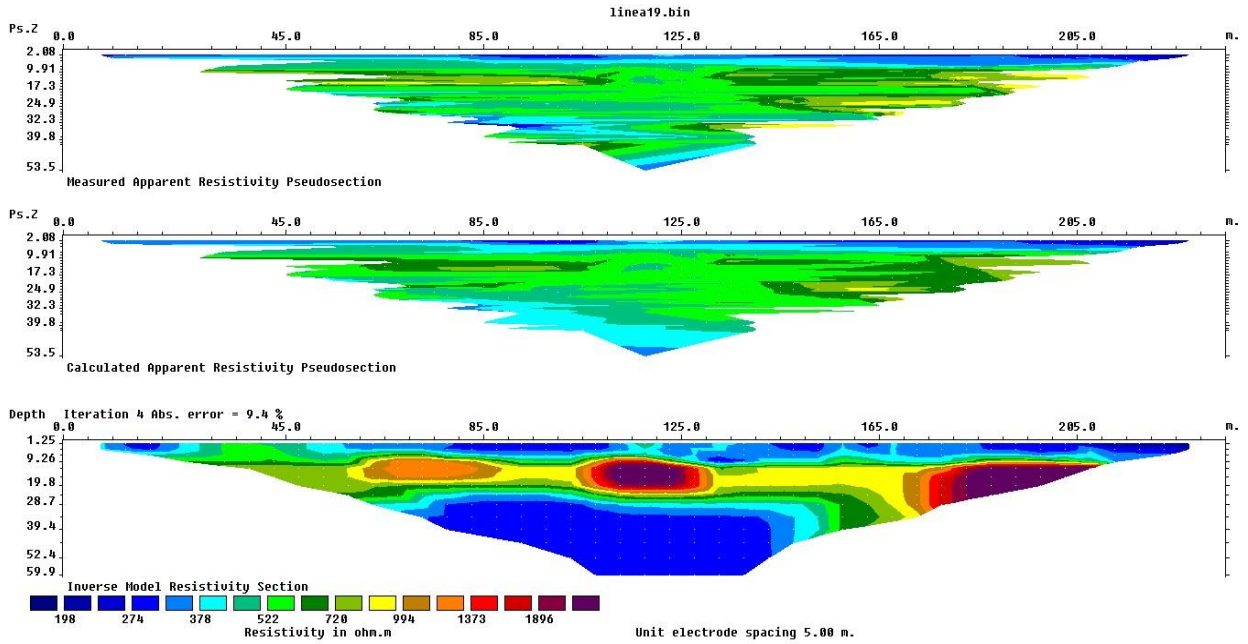
Anexo 1.18

Tomografía línea N°18



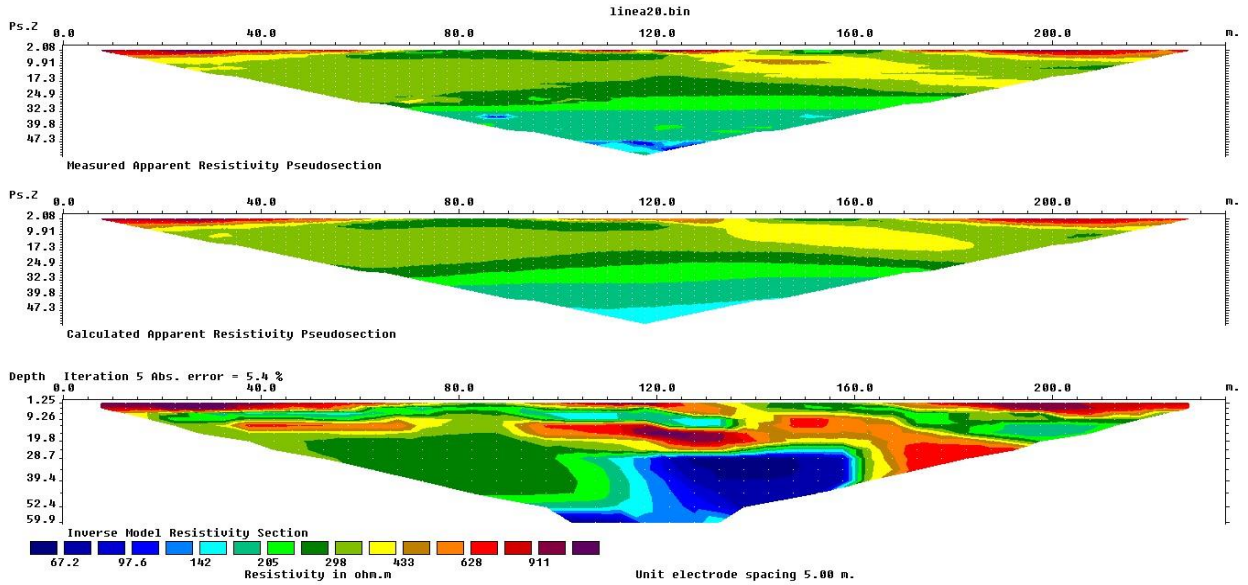
Anexo 1.19

Tomografía línea N°19



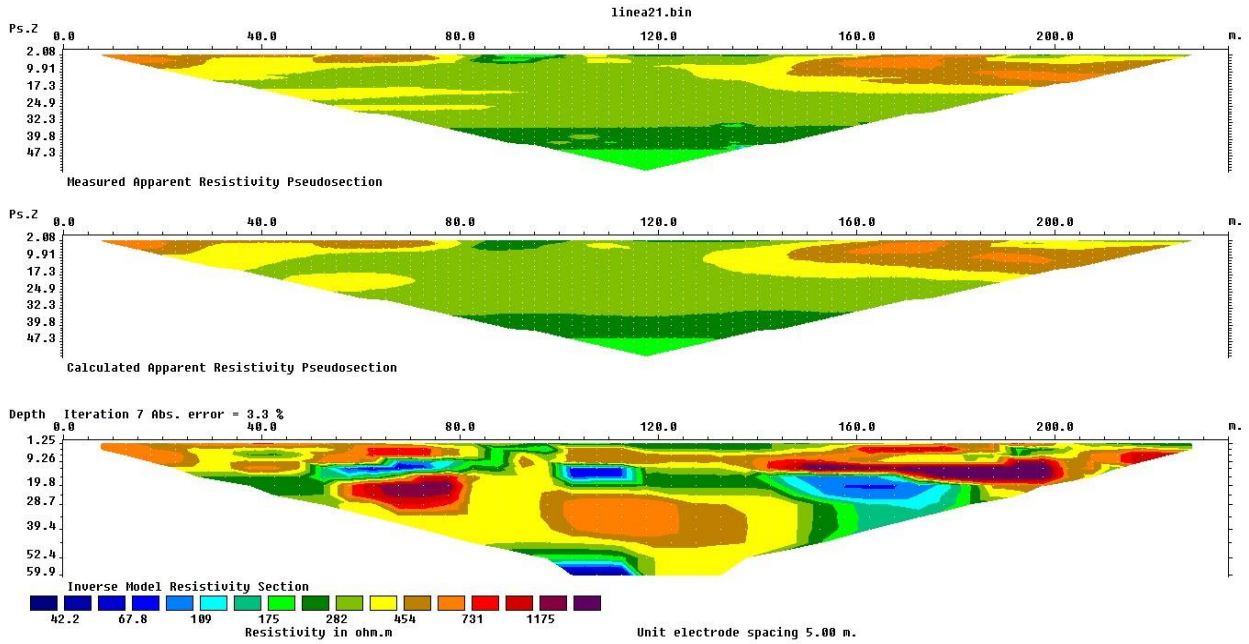
Anexo 1.20

Tomografía línea N°20



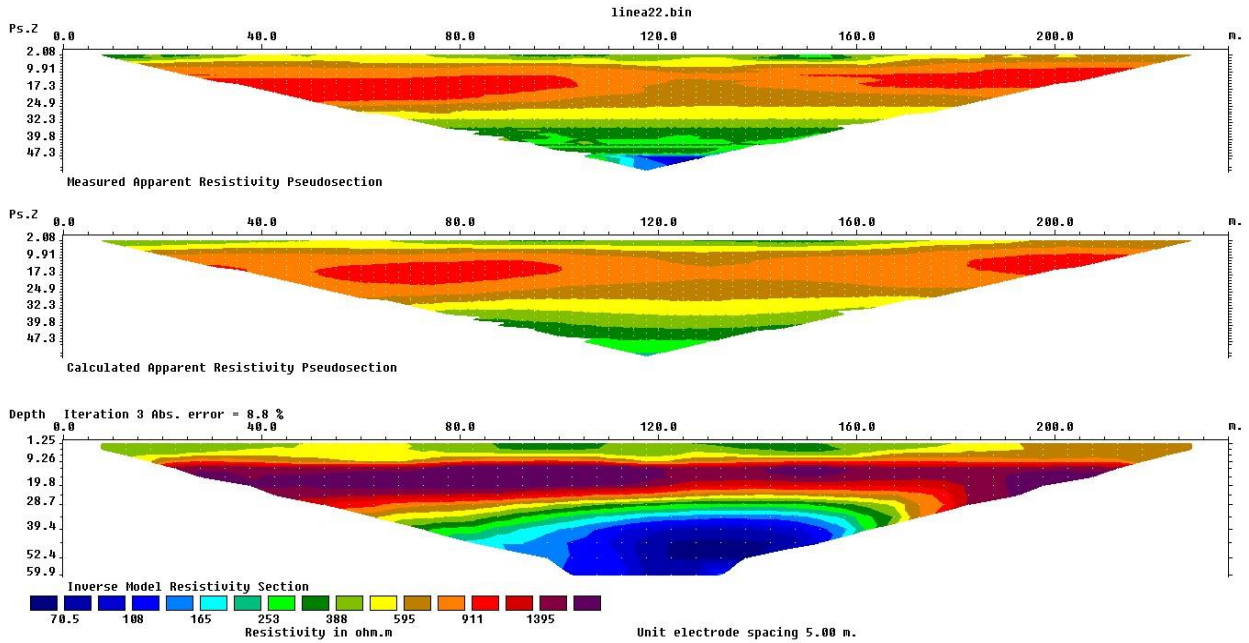
Anexo 1.21

Tomografía línea N°21



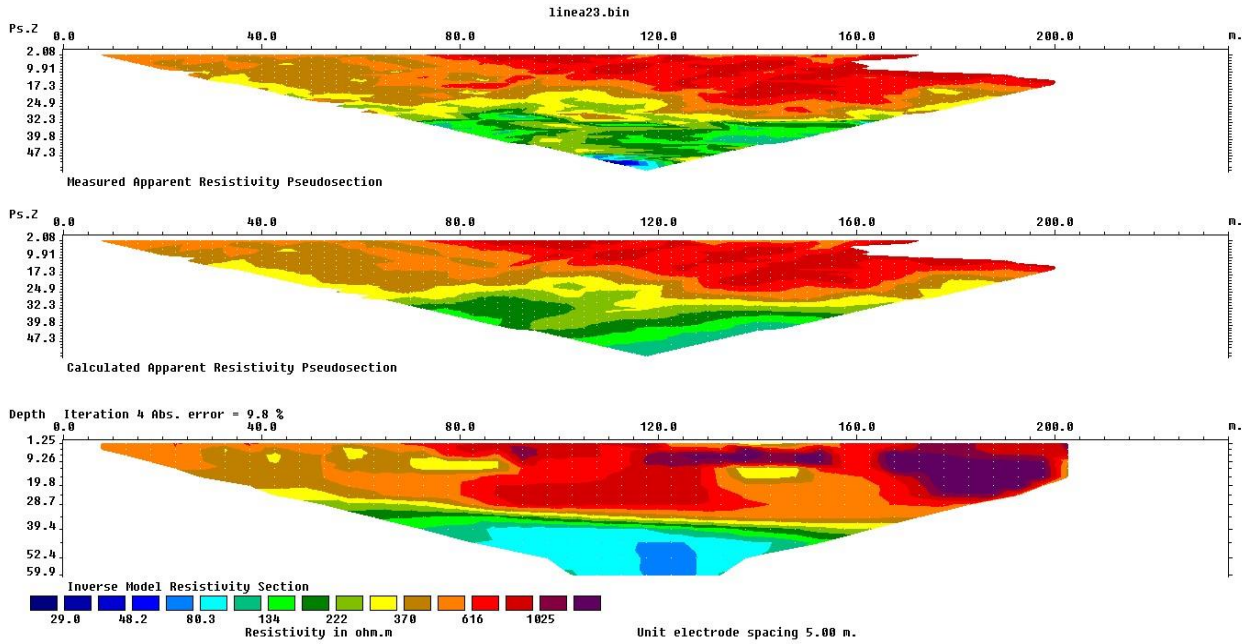
Anexo 1.22

Tomografía línea N°22



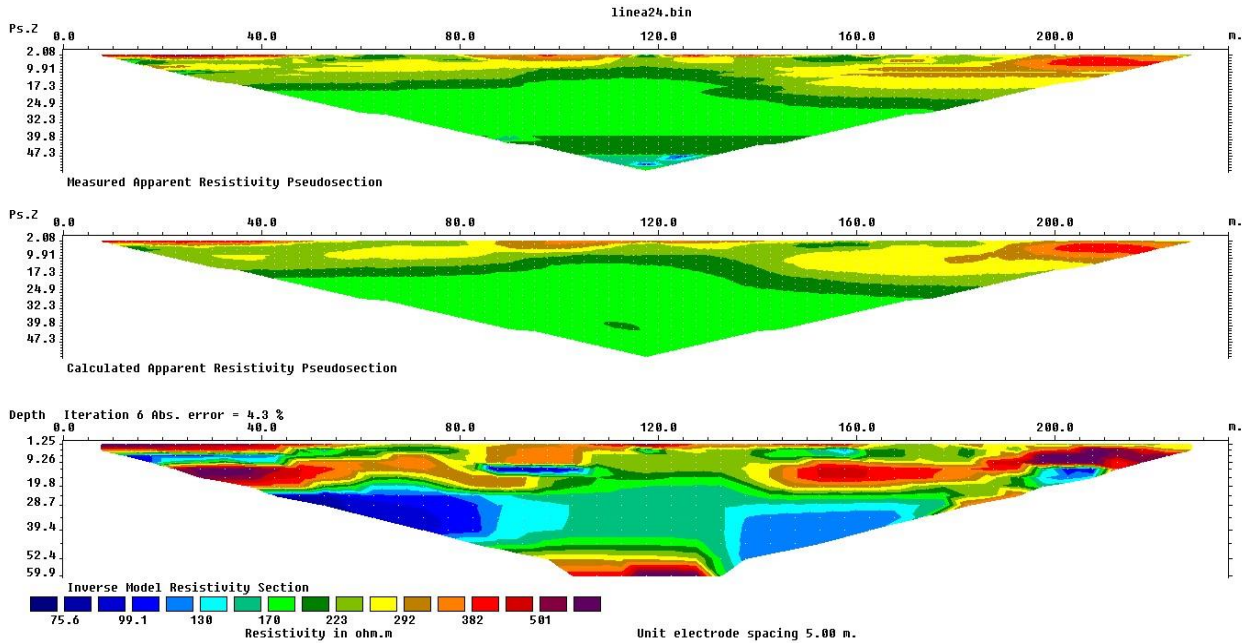
Anexo 1.23

Tomografía línea N°23



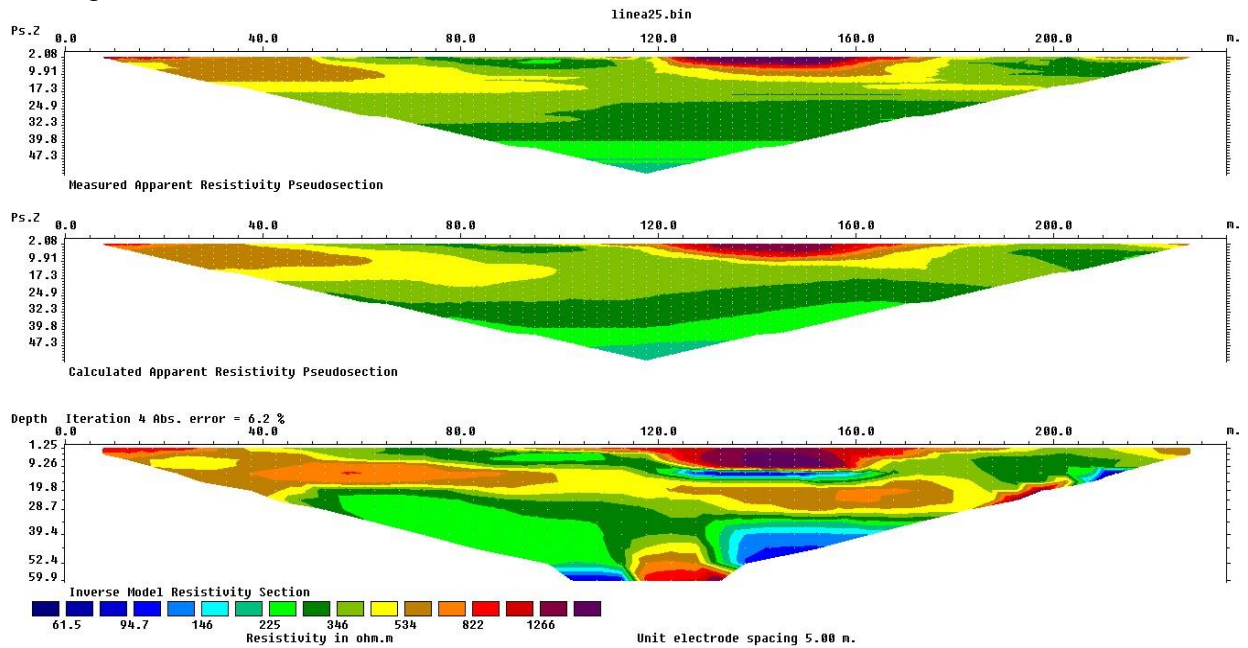
Anexo 1.24

Tomografía línea N°24



Anexo 1.25

Tomografía línea N°25



Anexo 2. Encuestas

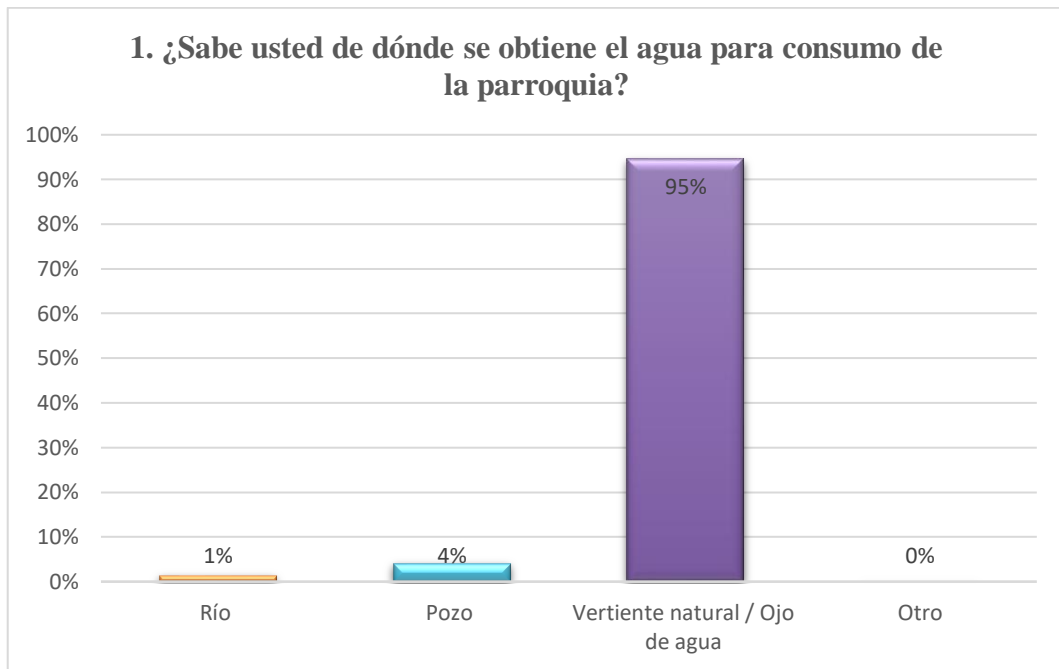
Nota: Debido a la cantidad de encuestas realizadas, se optó por crear un enlace donde se visualiza una carpeta con las 148 encuestas realizadas.

<https://unachedu->

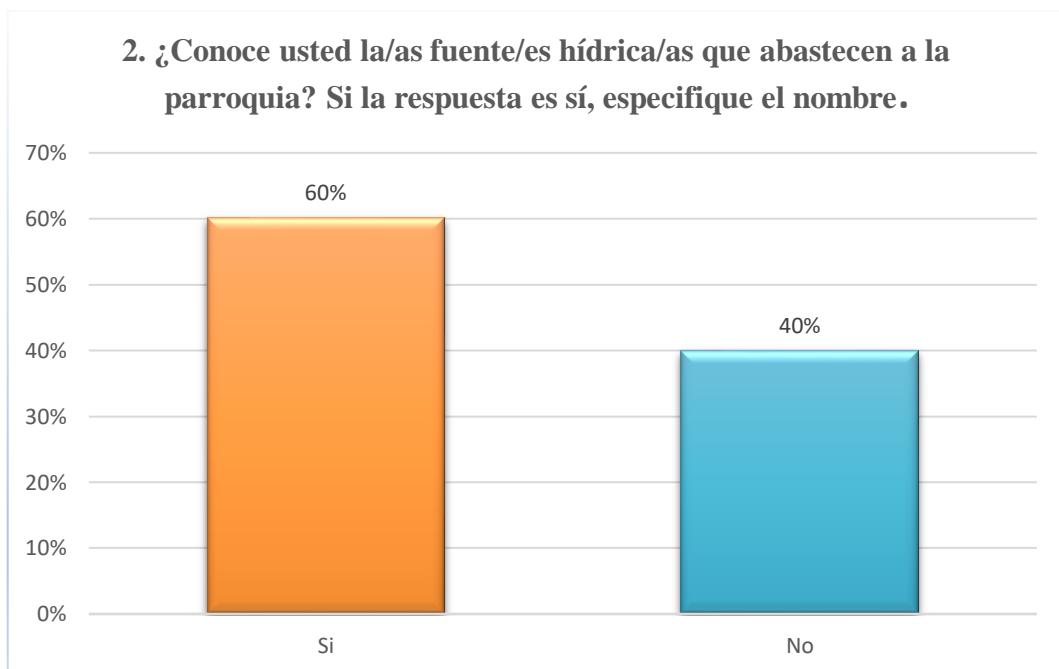
[my.sharepoint.com/:f:/g/personal/paola_remache_unach_edu_ec/Enx2v6ifkjJMpS5hCoPsOxEBZQoji-orh_UqaZvs-s-HVw](https://unachedu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/paola_remache_unach_edu_ec/Enx2v6ifkjJMpS5hCoPsOxEBZQoji-orh_UqaZvs-s-HVw)

Anexo 3. Tabulaciones

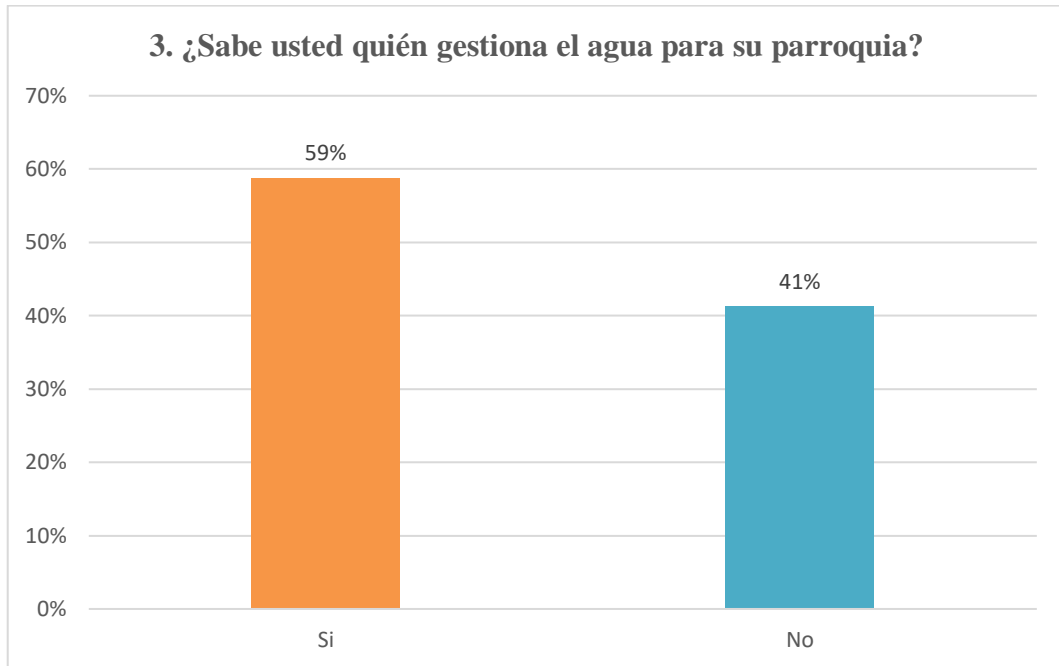
Anexo 3.1: Primera Pregunta



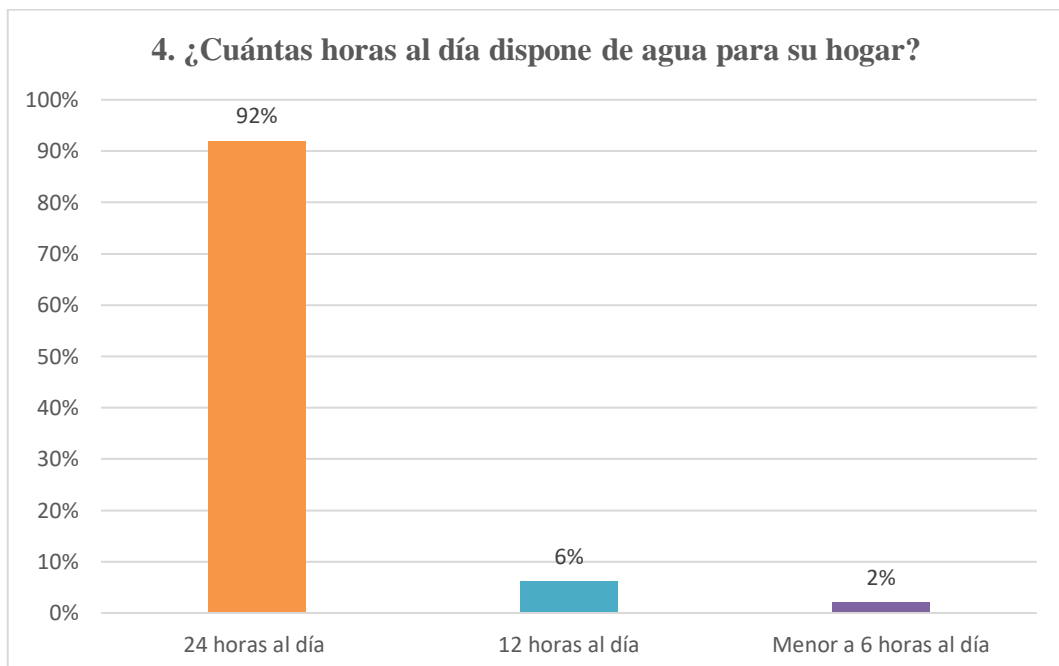
Anexo 3.2: Segunda Pregunta



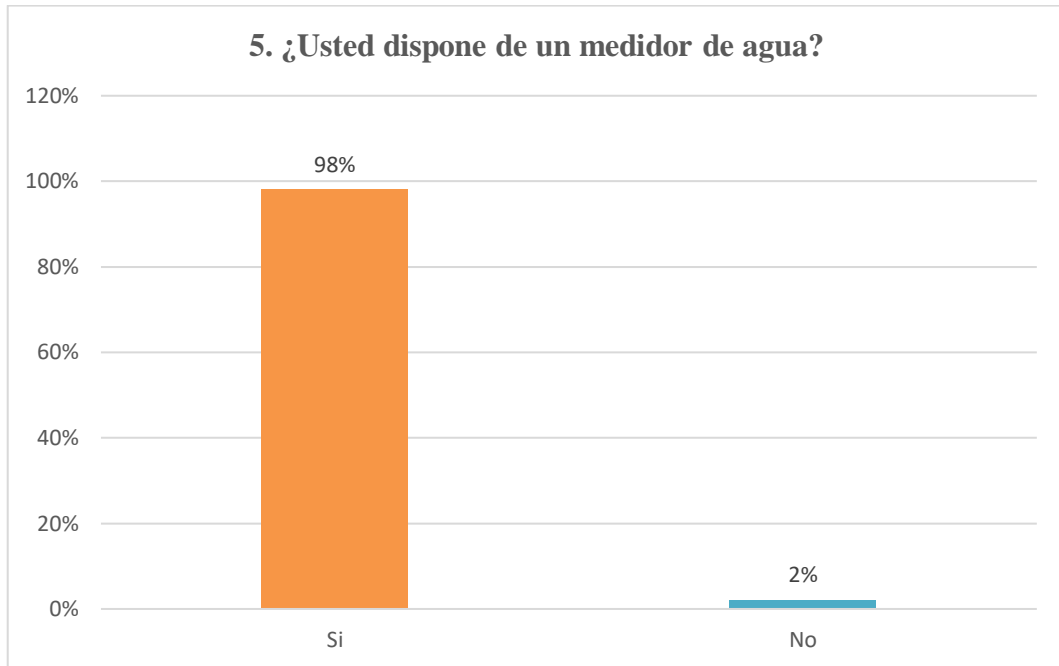
Anexo 3.3: Tercera Pregunta



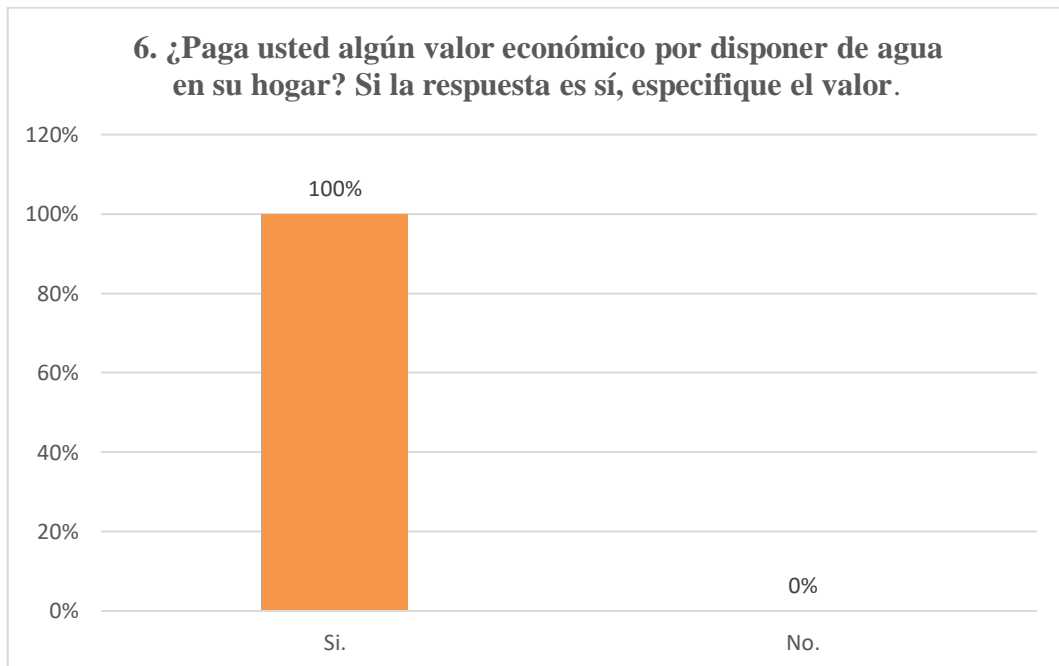
Anexo 3.4: Cuarta Pregunta



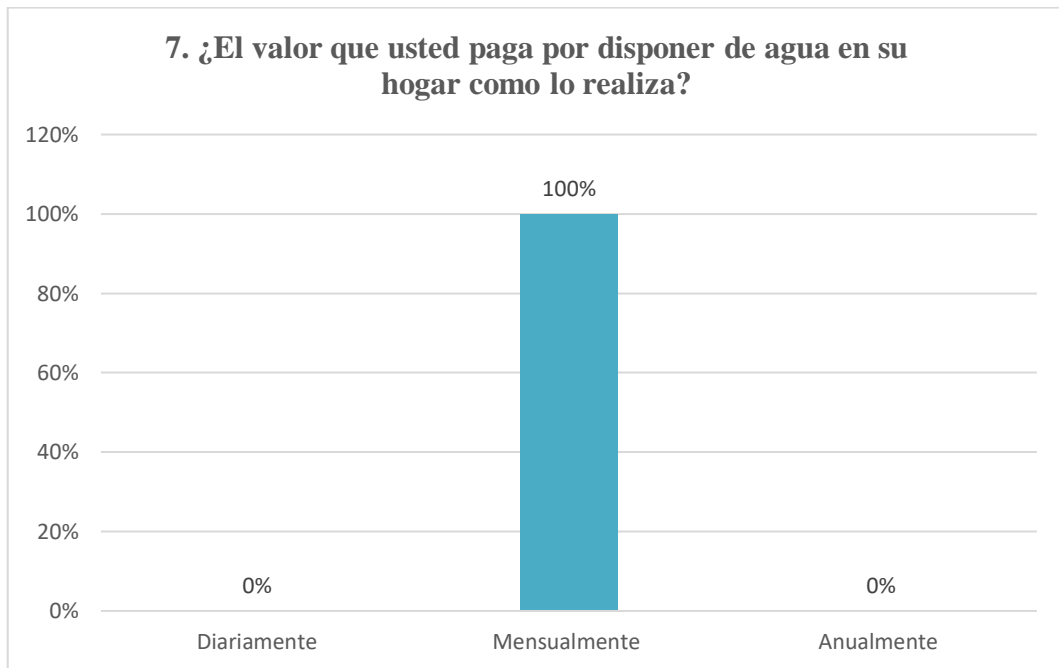
Anexo 3.5: Quinta Pregunta



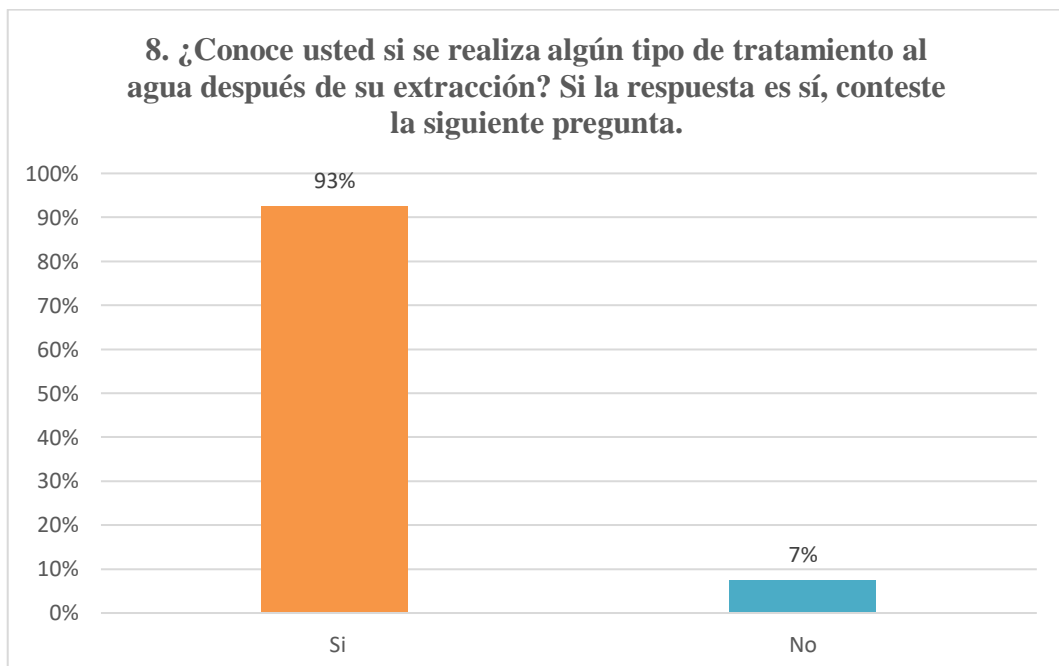
Anexo 3.6: Sexta Pregunta



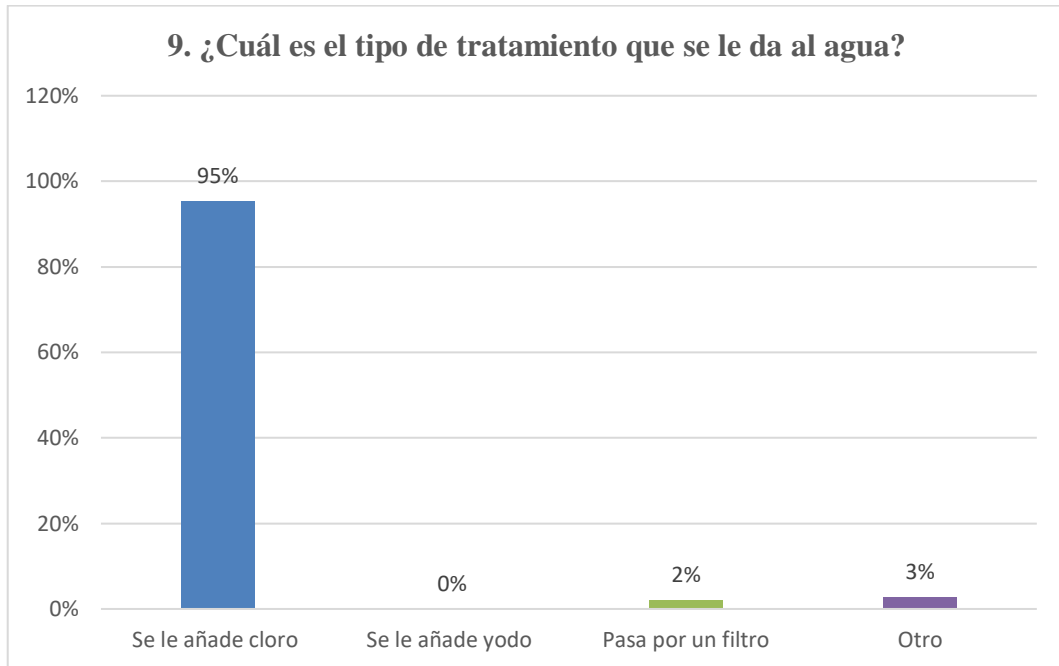
Anexo 3.7: Séptima Pregunta



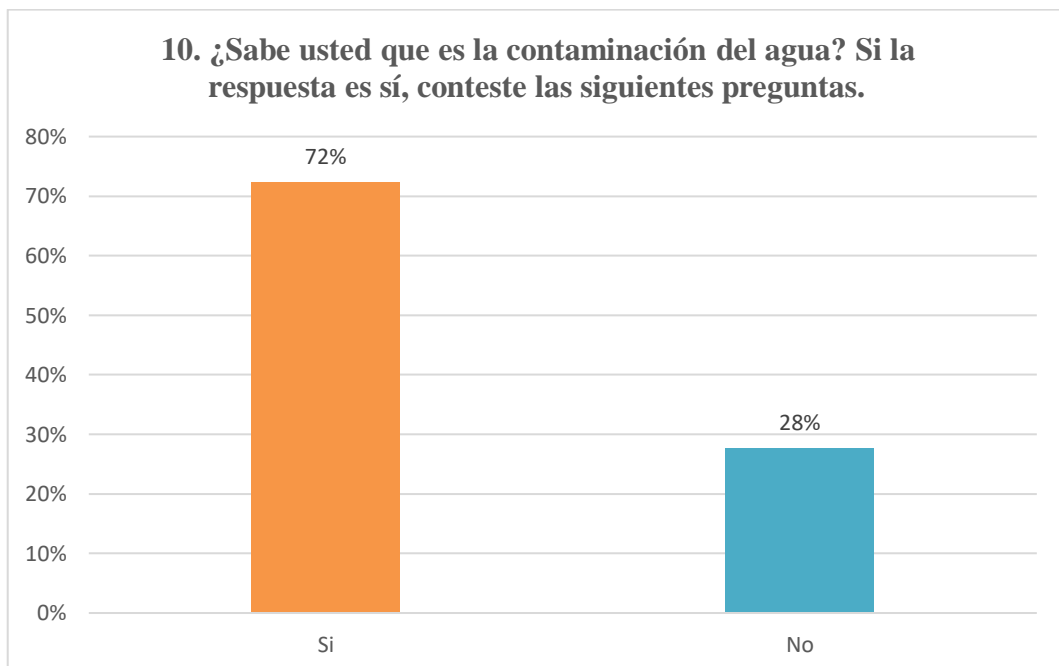
Anexo 3.8: Octava Pregunta



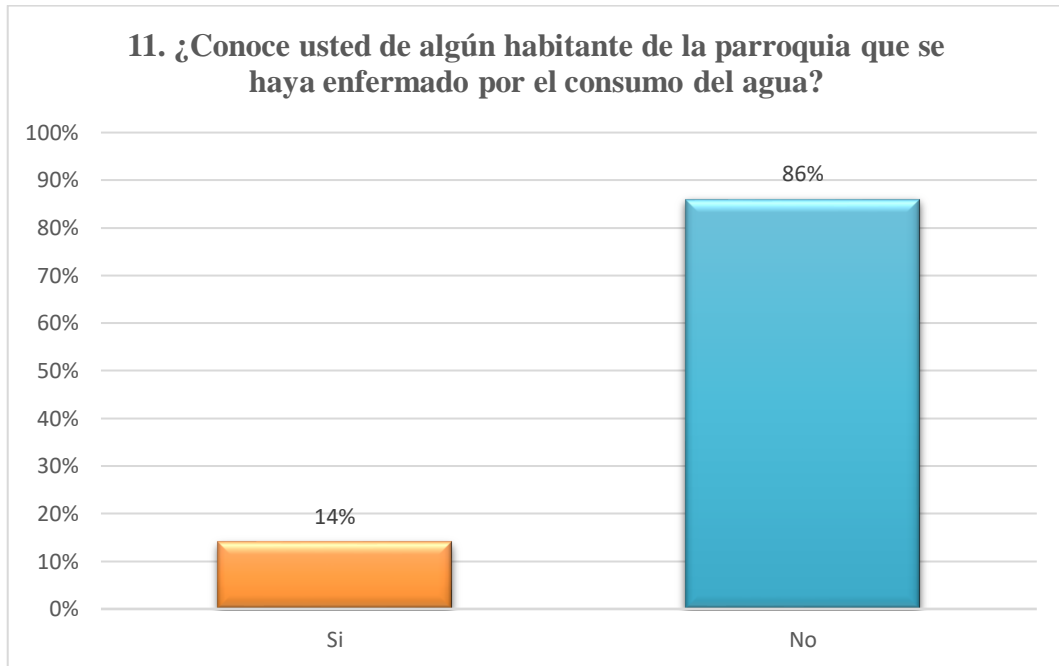
Anexo 3.9: Novena Pregunta



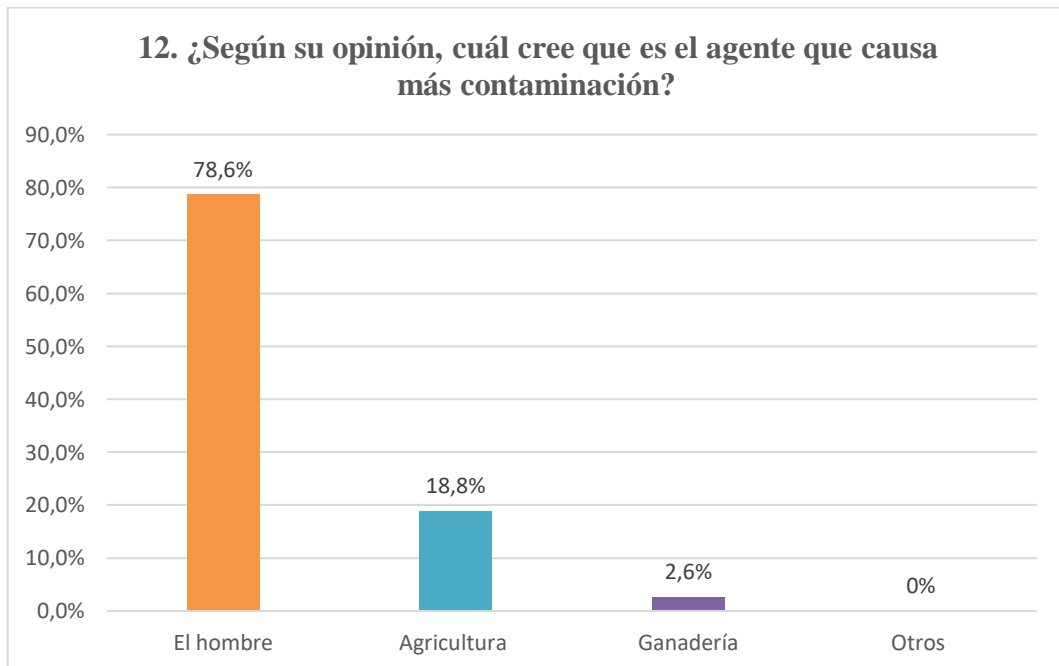
Anexo 3.10: Décima Pregunta



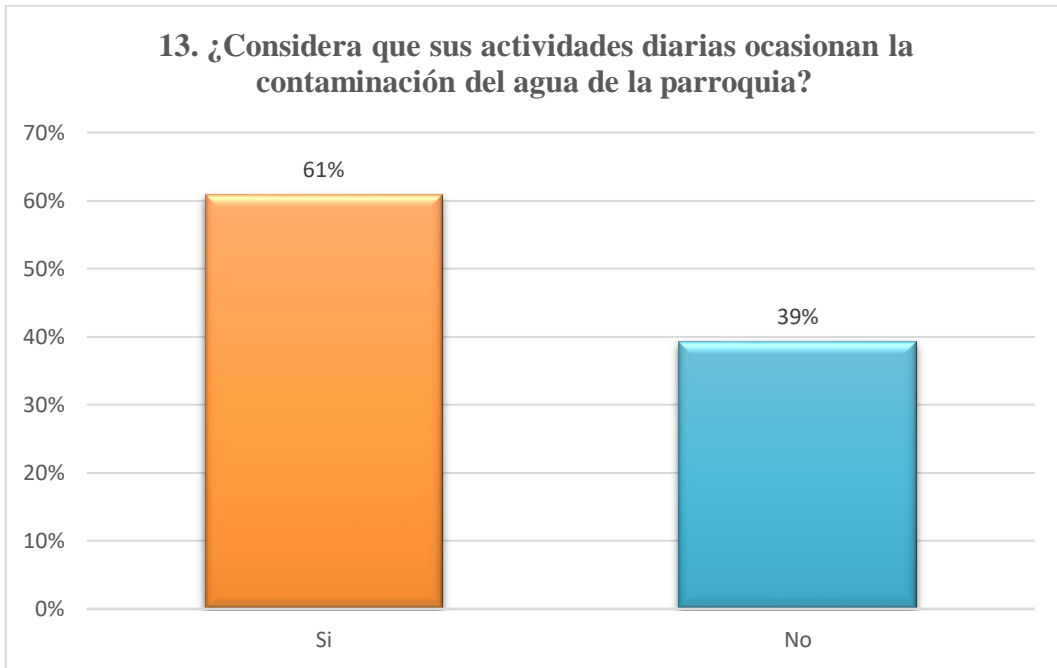
Anexo 3.11: Décima Primera Pregunta



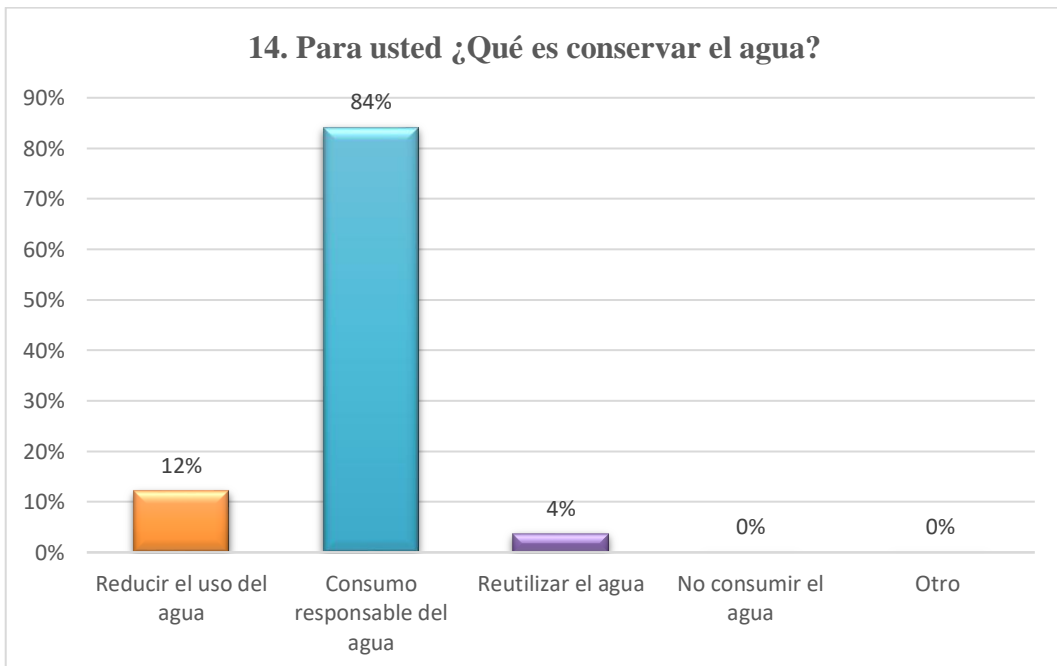
Anexo 3.12: Décima Segunda Pregunta



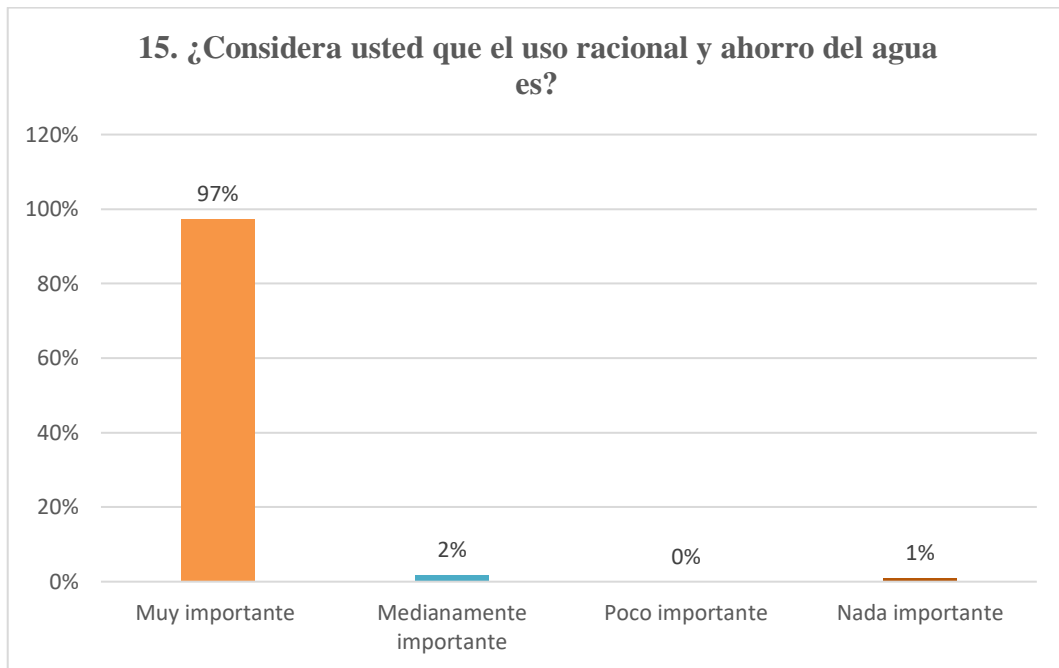
Anexo 3.13: Décima Tercera Pregunta



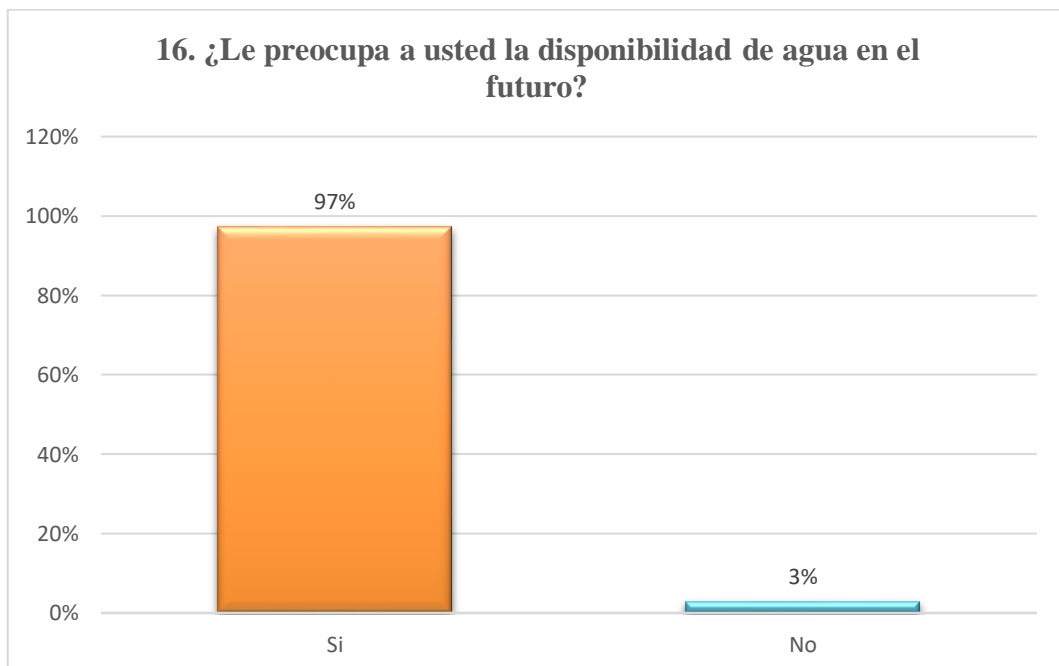
Anexo 3.14: Décima Cuarta Pregunta



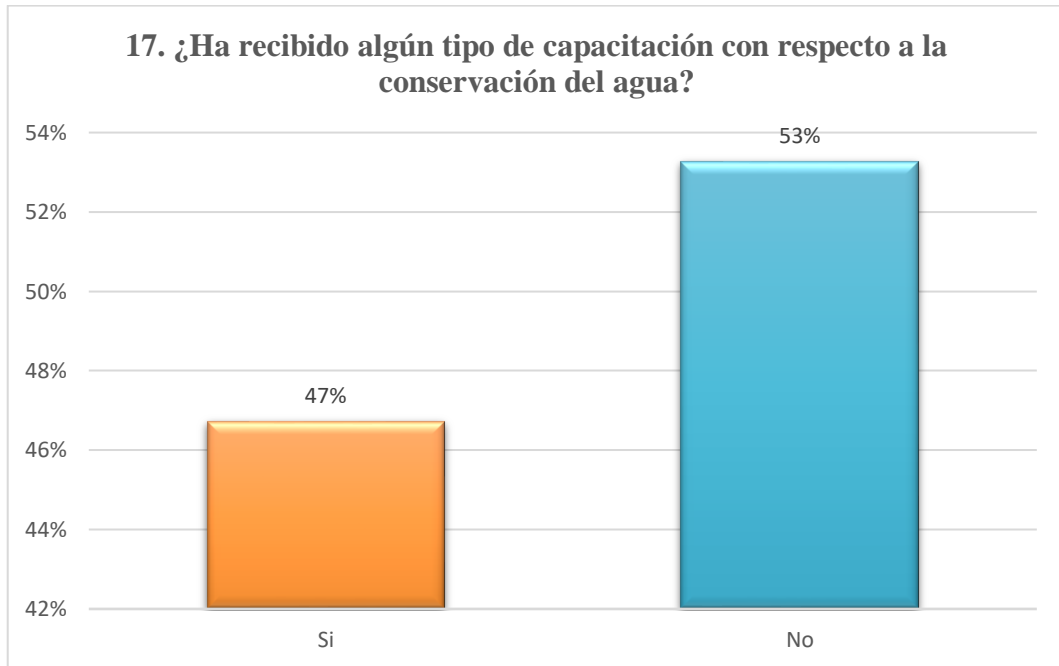
Anexo 3.15: Décima Quinta Pregunta



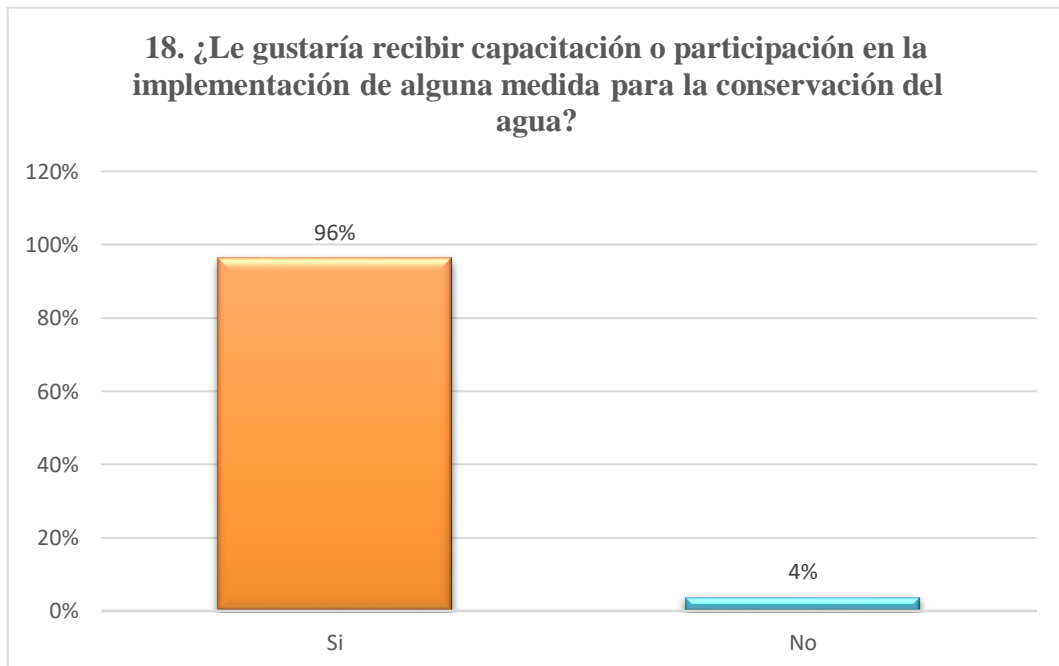
Anexo 3.16: Décima Sexta Pregunta



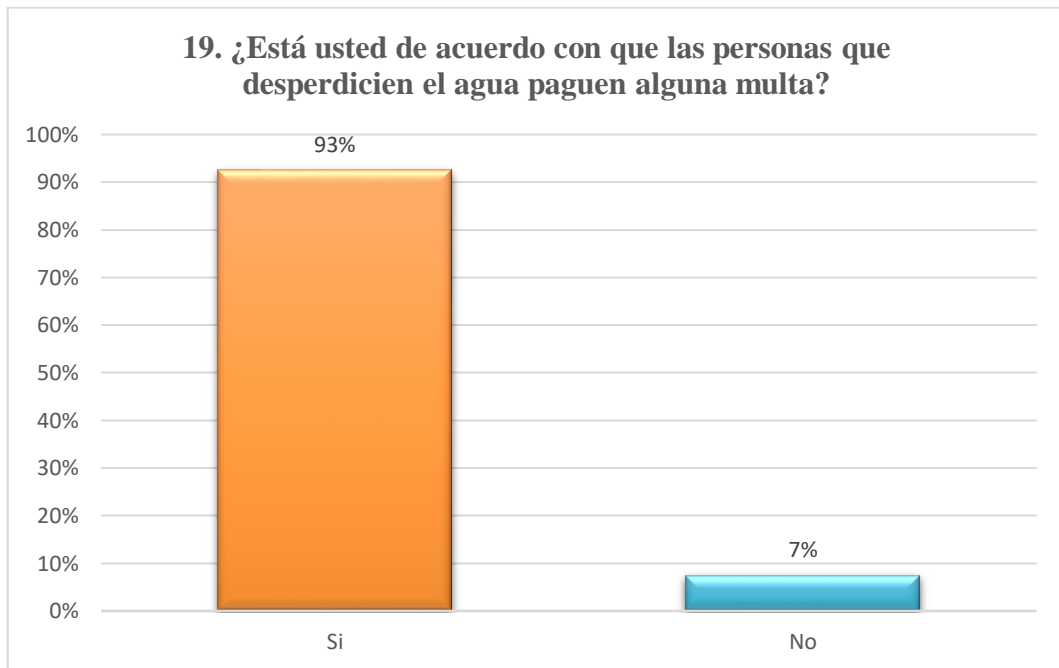
Anexo 3.17: Décima Séptima Pregunta



Anexo 3.18: Décima Octava Pregunta



Anexo 3.19: Décima Novena Pregunta



Anexo 3.20: Vigésima Pregunta

