



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

**Estudio Hidrogeológico del sector Langos mediante tomografías eléctricas
de resistividad.**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Guasti Ashca, Luis Nelson

Tutor:

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Luis Nelson Guasti Ashca** con cédula de ciudadanía **0504010562**, autor del trabajo de investigación titulado: **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR LANGOS 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 de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 14 de julio del 2023.



Luis Nelson Guasti Ashca

C.I: 0504010562

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR LANGOS MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD** por **Luis Nelson Guasti Ashca**, con cédula de identidad número **0504010562**, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 27 de julio del 2023.

Dra. Silvia Torres, PhD
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Dra. Anita Ríos, PhD
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Ing. María Fernanda Rivera
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Ing. Benito Mendosa, PhD
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR LANGOS MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD** por **Luis Nelson Guasti Ashca**, con cédula de identidad número **0504010562**, 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 27 de julio de 2023.

Dra. Silvia Torres, PhD
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
DE GRADO**

Handwritten signature of Dra. Silvia Torres in blue ink, written over a horizontal line.

Dra. Anita Ríos, PhD
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL
DE GRADO**

Handwritten signature of Dra. Anita Ríos in blue ink, written over a horizontal line.

Ing. María Fernanda Rivera
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL
DE GRADO**

Handwritten signature of Ing. María Fernanda Rivera in blue ink, written over a horizontal line.



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

UNACH-RGF-01-04-08.15

VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, Guasti Ashca, Luis Nelson con CC: 0504010562, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR LANGOS MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD", cumple con el 8 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio OURIGINAL, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 10 de julio de 2023



Benito Guillermo
Mendoza Trujillo

Benito Mendoza T., PhD.

TUTOR

DEDICATORIA

A MI PADRE REINALDO GUASTI.

Por ser una base fundamental en mi vida y mi orgullo a seguir, ya que con sus sabias palabras supo alentar a seguir el camino de la superación para cumplir mis sueños y metas sin importar los obstáculos de la vida.

A MI MADRE LUZMILA ASHCA.

Por su sacrificio y su apoyo incondicional por sus consejos, por su amor, esperanza que siempre a brindado para poder seguir en el camino del éxito.

A MIS HERMANOS LICDA.MARIBEL, ABRAN, JONI GUASTI.

Por estar pendientes de cada paso de mi vida estudiantil, ya que en los momentos más difíciles estaban ay para alentar con sus palabras y darme ánimos a seguir.

A MI ESPOSA NANCY CALAPAQUI.

Por el apoyo y comprensión en los últimos semestres y de la culminación de la tesis quien ha sabido darme todo su apoyo y motivación en esta etapa de mi vida, dándome sus consejos y dejándome marcado con su amor y carisma de una forma inigualable.

A MI HIJO JOSUE GUASTI.

Por que fue un motor en mí, una inspiración a continuar en los últimos semestres y con el trabajo final que, con su sonrisa, ternura fue un aliento a seguir adelante.

A MI FAMILIA.

Quienes siempre estaban motivándome, compartiendo palabras positivas para seguir adelante.

Nelson Guasti

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la bendición y sabiduría y guiarme ya que con su manto me cubrió siempre en los momentos más difíciles de mi etapa de estudio.

A mis padres, hermanos y mi esposa quienes apoyaron moralmente, económicamente en cada fase de mi vida estudiantil por haberme dado su confianza y apoyo en todo momento que he pasado en mi vida universitaria por estar hay cuando más lo necesite y cuando estaba a punto de rendirme, por ser un pilar fundamental en mi vida diaria y en mi vida estudiantil, por inculcarme todos los valores de honestidad, respeto, puntualidad para sobresalir en la vida diaria.

Al PhD Benito Mendoza quien con su amistad, compañerismo, motivación y orientación profesional ha sabido guiarme durante todo el trabajo de investigación.

A los docentes de la Carrera Ing. Ambiental quienes desde los inicios de la vida estudiantil universitaria supieron formar personas con un conocimiento innovador.

Nelson Guasti

ÍNDICE GENERAL.

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL.

ÍNDICE DE TABLAS.

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

1.	CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1	INTRODUCCION.....	19
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2.1	Problemática	20
1.2.2	Justificación.....	21
1.2.3	Objetivos	22
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1	Ciclo hidrológico	22
2.2	Aguas subterráneas	23

2.3	Estratigrafía	23
2.4	Partes de un Estrato.....	24
2.5	Métodos geofísicos para estudiar Estratigrafía.	24
2.5.1	Tomografías eléctricas	24
2.5.2	Resistividad eléctrica de suelos.....	26
2.5.3	Medición de la resistividad del suelo	27
2.5.4	Sondeo eléctrico vertical.....	27
2.6	Métodos para la medición de resistividad de suelo.....	28
2.6.1	Arreglo Wenner	28
2.6.2	Configuración dipolo-dipolo.....	28
2.6.3	Método de Schlumberger	29
2.7	Factor que influye en la resistividad.....	29
2.7.1	Naturaleza de terreno	29
2.7.2	Humedad	30
2.7.3	Salinidad.....	30
2.7.4	Temperatura.....	30
2.7.5	Estratigrafía del terreno.....	30
2.7.6	Variaciones estacionales	31
2.7.7	Compactación del terreno	31
2.8	Software Res2DInv.....	31
2.9	Software Voxler 3D	32
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGIA	32

3.1	METODOLOGIA.....	32
3.1	Tipo de estudio.....	33
3.2	Caracterización de la Zona de estudio	33
3.3	Definición de puntos de monitoreo	34
3.4	Configuración de equipo Syscal pro en campo y adquisición de datos ..	34
3.5	Procesamiento de Datos	35
3.6	Modelamiento en 3D.....	35
3.7	Potencial hidrogeológico y proponer medida de conservación de aguas subterráneas.....	36
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1	Descripción del área de estudio.....	36
4.2	Descripción geología del área	37
4.3	Estudio de las tomografías realizadas.....	38
4.4	Análisis e interpretación de estratigrafía 3D.....	53
4.5	Fuente: AutorResultado de las encuestas aplicadas	55
4.6	Medidas a tomar para la conservación del agua subterránea.....	61
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	62
5.1	Conclusiones.....	62
5.2	Recomendaciones	63
6.	BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Resultado de las encuestas aplicadas.....	55
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Partes de un estrato.....	24
Ilustración 2. Metodología	32
Ilustración 3. Ubicación de la zona de Estudio	33
Ilustración 4. Mapa de ubicación de tomografías.....	37
Ilustración 5. 1ra Tomografía.....	38
Ilustración 6.2da Tomografía	39
Ilustración 7.3ra Tomografía.....	39
Ilustración 8. 4ta Tomografía	40
Ilustración 9.5ta Tomografía	40
Ilustración 10.6ta Tomografía	41
Ilustración 11. 7ma Tomografía	41
Ilustración 12. 8va Tomografía	42
Ilustración 13. 9na Tomografía	42
Ilustración 14. 10ma Tomografía	43
Ilustración 15. 11va Tomografía.....	44
Ilustración 16. 12va Tomografía.....	44
Ilustración 17. 13va Tomografía.....	45
Ilustración 18. 14va Tomografía.....	45
Ilustración 19. 15va Tomografía.....	46
Ilustración 20. 16va Tomografía.....	47

Ilustración 21. 17va Tomografía.....	47
Ilustración 22. 18va Tomografía.....	48
Ilustración 23. 19na Tomografía	48
Ilustración 24. 20mo Tomografía	49
Ilustración 25. 21ra Tomografía.....	50
Ilustración 26. 22da Tomografía	50
Ilustración 27. 23ra Tomografía.....	51
Ilustración 28. 24ta Tomografía	51
Ilustración 29. 25ta Tomografía	52
Ilustración 30. 26ta Tomografía	53
Ilustración 31. Modelamiento en tres dimensiones 3D zona completa del estudio	54
Ilustración 32. Modelamiento en tres dimensiones 3D zona superficial del estudio	54
Ilustración 33. Modelamiento en tres dimensiones 3D vista inferior	55

RESUMEN

La realidad hidrológica del Ecuador es amplia en el sentido que existe muchos recursos hídricos disponibles para el uso en consumo humano, riego y desarrollo industrial, pero existen zonas en las que no se puede obtener agua de manera fácil, ya que, para que el agua llegue a la distribución final se debe realizar grandes obras de captación y conducción desde las partes altas de las cuencas hidrográficas. Es lo que sucede en el sector de Langos San Andrés, un área de expansión del cantón Guano, pero principalmente de la ciudad de Riobamba, donde se generó un desarrollo habitacional considerable y el que necesita del acceso al agua de consumo humano. En este sentido, cerca de esta zona está ubicado el sistema de bombeo de Llio y la vertiente de San Pablo, además en la parte baja del sector se encuentra el río Guano cuyos orígenes corresponde al acuífero regional que se encuentra en el subsuelo de este sector. En este sentido el objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad hidrogeológica del sector utilizando tomografías eléctricas de resistividad con fines de identificar posibles zonas de aprovechamiento y salvaguarda de agua para este sector. En este contexto se encontró que existen zonas impermeables con resistividades que van desde los 500 a 1300 omh.m zonas semipermeables con valores desde los 150 a 499 omh.m y zonas con resistividades que van desde los 60 a 150 ohm.m, mostrando una zona acuífera heterogénea entre los 30 y 40 m de profundidad, esto en áreas cercanas al río Guano. En este sentido, es recomendable utilizar el agua de este acuífero en zonas cercanas al río Guano, a unos 300 metros respecto al eje del río para no afectar la recarga natural que tiene este río, además realizar medidas de conservación como retirar la agricultura y ganadería de las zonas aledañas al río.

Palabras claves: Cuencas hidrográficas, tomografías eléctricas de resistividad, zonas impermeables, zonas semipermeables.

ABSTRACT

Ecuador's hydrological reality is broad in that many water resources are available for human consumption, irrigation, and industrial development. However, there are areas where water cannot be obtained easily since, for the water to reach the final distribution, large catchment and conduction works must be carried out from the upper parts of the watersheds. It is what happens in the Langos San Andres sector, an area of expansion of the Guano canton, but mainly in the city of Riobamba, where considerable housing development has been generated and which needs access to water for human consumption. In this sense, near this area is located the Llio pumping system and the San Pablo spring; also, in the lower part of the sector is the Guano River, whose origins correspond to the regional aquifer in this sector's subsoil. In this sense, the objective of this work was to determine the hydrogeological capacity of the sector using electrical resistivity tomography to identify possible areas of water use and safeguarding for this sector. In this context, it was found that there are impermeable zones with resistivities ranging from 500 to 1300 pm.m, semi-permeable zones with values from 150 to 499 pm.m, and zones with resistivities ranging from 60 to 150 ohm.m, showing a heterogeneous aquiferous zone between 30 and 40 m depth in areas near the Guano River. In this sense, it is advisable to use the water from this aquifer in areas close to the Guano River, about 300 meters from the river axis, in order not to affect the natural recharge of the river and to take conservation measures such as removing agriculture and livestock from the areas near the river.

Keywords: Watersheds, electrical resistivity tomography, impermeable zones, semi-permeable zones.

Reviewed by:



Lic. Eduardo Barreno Freire

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604936211

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCION.

En los últimos años el planeta atravesó crisis ambientales graves provocado por distintos factores naturales, antrópicos y el mal usos del ser humano, lo cual afecta a los recursos naturales. Es así que se registran temperaturas más altas cada año, frecuentes desastres naturales, enfermedades sensibles al clima y provoca una amenaza para la salud . Los indicadores de salud predicen 250,000 muertes en los próximos años por el cambio climático (OPS & OMS, 2020).

En la actualidad la extensión del crecimiento poblacional mundial sumado a un aumento del consumo de agua para la agricultura, la industria, generaciones energéticas, uso doméstico, el cambio climático y la contaminación cambian el ciclo hidrológico y los sistemas de recursos de aguas dando como resultado un incremento en la demanda del líquido vital (ONU, 2017).

Para el Análisis de agua se considera diversas entradas como cantidad, calidad y la distribución de recursos hídricos (Moreira et al., 2015). Auge (2006) indica que la distribución del agua sobre la tierra el 95% constituye el agua del mar, el 2% es el agua no utilizable en estado sólido que se encuentra en glaciares o en los casquetes polares y se estima que el 3% es agua dulce, de este el 95% constituye aguas subterráneas con una reserva hasta 1.000m de profundidad. Por lo que existe un desconocimiento de las consecuencias de actividades y procesos contaminantes que plantea una ausencia de políticas claras y efectivas que afectan a este tipo de agua.(Antúnez & Guanoquiza, 2019).

En distintas zonas del ecuador las aguas subterráneas se considera como el único recurso disponible para el consumo humano, la agricultura y como un recurso vital para el funcionamiento de los ecosistemas (Burbano et al., 2015). La presencia de agua subterránea se debe a la heterogeneidad geológica de diferentes regiones geográficas, lo cual por condiciones físico-climáticas el uso de este tipo de recurso subterráneo es bajo (Torrego & Martinez-Frias, 2001). Por esta razón existen investigaciones que permiten conocer sobre el recurso y el manejo sostenible de aguas subterráneas al momento de ser explotados para su uso y consumo (Sánchez et al., 2016).

En este sentido, en el sector noroccidental del Cantón Guano, en la ciudad geológica Riobamba se encuentra formaciones volcánicas con fracturación, este tipo de condición geológica genera la presencia de acuíferos con una permeabilidad variable. (Burbano et al., 2015).

Este acuífero es explotado por los GADS de Riobamba y Guano en ciertas zonas, pero aún no se conoce en la mayor parte de su estructura, lo que imposibilita una gestión total del agua subterránea en este acuífero. En este contexto, la exploración del subsuelo mediante métodos no destructivos puede resolver satisfactoriamente esta escasez de información, en este caso mediante tomografías eléctricas de resistividad(Mayorga, 2020).

La investigación se enfoca en el estudio de aguas subterráneas mediante la aplicación de tomografías eléctricas de resistividad en el sector de Langos, para determinar la estructura geológica de la zona de estudio y el nivel freático del acuífero. Para proponer medidas de conservación de agua subterránea del sector.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problemática

El agua es un recurso hídrico muy indispensable para el ser vivo por lo cual, es necesario garantizar la calidad y el acceso apropiado. En la actualidad el Banco Mundial estima que unos 2200 millos de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable gestionadas de manera segura. La gran variabilidad de precipitaciones y la contaminación trasforman el agua en uno de los principales riesgos para la salud, el progreso económico, la erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible (BANCO MUNDIAL, 2021).

Para países en vías de desarrollo como Ecuador el acceso universal de agua potable se ha convertido en un desafío a lograr para varias instituciones, siendo una prioridad para muchas de ellas como por ejemplo la UNICEF o la Organización Mundial de la Salud (OMS), puesto que

en varios sectores del país no cuentan con sistemas que garantiza el recurso hídrico de calidad o la ausencia de este servicio (UNICEF & INEC, 2018).

En Ecuador la gestión del recurso hídrico es una problemática caracterizada por inadecuada gestión, uso y aprovechamiento del agua (Rivera, 2016). En este contexto la urbanización se caracteriza como una fuente importante de contaminación especialmente de las aguas subterráneas, como producto de la eliminación inadecuada de residuos sólidos e infraestructura de saneamiento inapropiada (UNESCO, 2020).

El sector de Langos cuenta con un rede de distribución de agua para 300 habitantes, lo cual resulta insuficiente para sostener el desarrollo de la zona. Debido al crecimiento de la ciudad de Riobamba que se extiende hacia este sector (GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, 2019).

1.2.2 Justificación

En la actualidad el sector Langos, es un polo de expansión urbano, lo que implica demanda en servicios básicos como agua potable (Tenelema & Mendoza, 2017). En este contexto, Langos cuenta con una población actual de 1860 habitantes con una posible expansión de 9280 pobladores, constituidas por 372 viviendas que se prevé que en un mediano plazo a futuro se incrementen 1856 domicilios (Bejarano & Martinez, 2021).

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 no poseen de este servicio a pesar de que existen acometidas en sus viviendas. Por esta razón el agua potable de origen subterráneo, es una alternativa para abastecer el recurso hídrico para los pobladores (Cristhian & Viteri, 2018). 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, provocaría una 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.

1.2.3 Objetivos

1.2.3.1 General

- Estudiar las características hidrogeológicas de sector “Langos” mediante la interpretación de la estratigrafía obtenida con tomografías eléctricas de resistividad y geología. Para proponer medidas de conservación de agua subterránea del sector.

1.2.3.2 Específicos

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

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Ciclo hidrológico

Es el movimiento constante del agua en la superficie de la tierra como en la atmosfera y debajo de la misma. En el que los océanos, mares, lagos, ríos y embalses se evaporan a mayor temperatura aumentado su intensidad cuando el ambiente se encuentra seco, además la vegetación mediante la traspiración contribuye a la evaporación. El agua pasa en forma de vapor hacia la atmósfera cargado de aire y humedad. El vapor de agua con el frio, puede condensarse en partículas dando lugar a las nubes y nieblas. El agua regresara a la superficie de la tierra y océanos en forma de precipitación (lluvia nieve o granizo, roció o escarcha) tomando en cuenta

que no toda la precipitación llega al suelo ya que una parte se evapora en su caída y la otra parte se queda en la vegetación, edificios, carreteras, y de vuelta a la atmósfera en forma de vapor de agua (Málaga, 2009).

Los principales factores que influyen en el proceso del ciclo hidrológico son los factores climáticos como la temperatura del aire, intensidad de los vientos, humedad relativa del aire y la insolación y el tipo de densidad de la cobertura vegetal (Caraballo & Xavier, 2012).

2.2 Aguas subterráneas

Es el agua existente acumulada de bajo la superficie terrestre, el cual puede ser colectada mediante perforaciones, túneles, o galerías de drenaje o puede fluir naturalmente a la superficie formando manantiales o filtraciones fluviales (Ordoñez, 2011).

Define las aguas subterráneas como un recurso hídrico que se encuentra en la etapa de circulación o almacenamiento ubicada debajo de la superficie del terreno y dentro del medio poroso, fracturas de rocas u otras formaciones geológicas. Así también, agrega que para su extracción y utilización de estos recursos hídricos se requiere de la realización de obras particulares (Cairapoma & Villegas, 2018).

2.3 Estratigrafía

La estratigrafía es una disciplina de la geología que estudia la composición (naturaleza, génesis) y la distribución del tiempo y espacio de los depósitos sedimentarios y las rocas agrupadas. Además, permite reconocer en las rocas, sus formas, composiciones litológicas, propiedades geofísicas y geoquímicas, sucesiones originarias, relaciones de edad, distribución y contenido fosilífero (Tenelema & Mendoza, 2017). Cada una de estas características ayudan a identificar y reconstruir secuencialmente eventos geológicos.

Además, se considera como el estudio y la interpretación de las rocas estratificadas mediante la identificación, descripción y secuencia tanto vertical como horizontal. También, se encarga de la cartografía y la relación entre las unidades de roca determinando en un orden y el tiempo de los eventos geológicos en la historia de la Tierra (Servicio Geológico Mexicano,

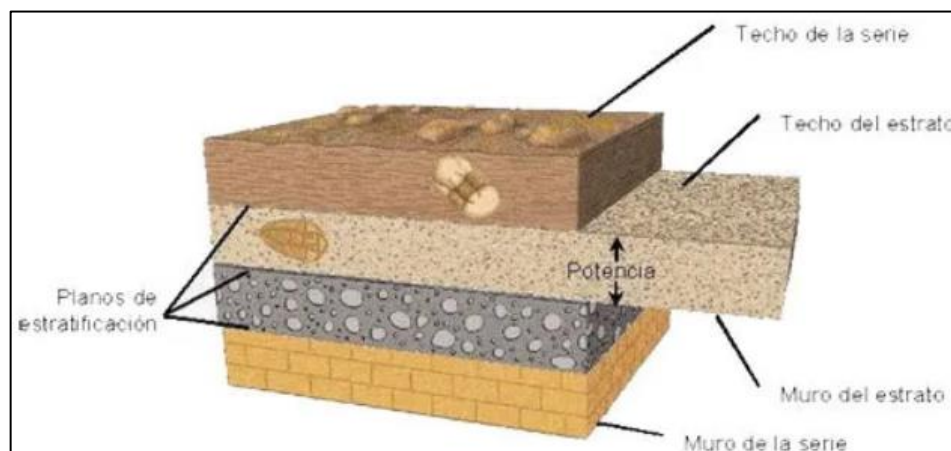
2017). A si también se enfoca principalmente en la identificación de los materiales, delimitación, ordenación y levantamiento de las unidades y secciones estratigráficas, interpretación genética de las unidades, correlación y asignación del tiempo y el análisis de cuencas.

2.4 Partes de un Estrato

El termino estrato es utilizada en la geometría y la genética, fue descrita por Steno en el siglo XVII refiriéndose a una roca o sedimento limitada por superficies horizontales con continuidad lateral equivalente a una unidad de tiempo de depósito.

Un estrato se encuentra dividido por dos superficies de estratificación: muro que se encuentra en la parte inferior donde inicia la sedimentación, el techo que se encuentra en la parte superior en el que finaliza el proceso de sedimentación y el espesor de un estrato el cual delimita la distancia entre el techo y el muro (Delgado, 2016).

Ilustración 1 Partes de un estrato



Fuente: (Geotecnia, 2018)

2.5 Métodos geofísicos para estudiar Estratigrafía.

2.5.1 Tomografías eléctricas

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica que tiene como objetivo determinar la distribución real de la resistividad subterránea (Bordehore, 2020). Según Rubio et al. (2017). se

utiliza en todos los casos que existan contrastes de resistividad entre el objeto de estudio y sus alrededores, lo cual permite entre diversas soluciones estimar la profundidad de un acuífero, localizar zonas fracturadas, o distinguir entre unidades litológicas.

Para ello se aplica una corriente eléctrica continua en la superficie del suelo a través de dos electrodos de corriente. El voltaje se mide con otro par de electrodos hasta un cierto rango de profundidad. Las medidas obtenidas corresponden a valores de resistividad aparente; después del procesamiento, se obtiene información sobre la resistividad real de la capa de la tierra que es característica de cada material. Las cavidades vacías (llenas de aire) tienen una resistividad aparente que tienden al infinito, los suelos saturados son muy conductivos y por lo tanto tienen una baja resistividad. Dependiendo de la posición de los electrodos, la corriente se adentra más o menos en el suelo (Bordehore, 2020).

En la tomografía eléctrica se miden la resistividad en distintos puntos de una sección transversal y los datos se interpolan y se interpretan para trazar la resistividad. Al cumplir la condición se considera como una herramienta útil para generar correlaciones entre la resistencia y el tipo de material en los terrenos ocultos. Para este proceso se colocan cantidades variables de electrodos en el suelo que debe estar alineados y conectados a un multímetro que a su vez se encuentra conectado al ohmímetro y al sector de los electrodos. Debido a la gran cantidad de datos obtenidos al combinar los cuatro puntos interconectados, es portante apoyarse de programas informáticos para el procesamiento de la información, para lo cual se realiza de una forma reiterada un aproximación del modelo informático al modelo real (Muñoz, 2021).

El principal proceso es la construcción de repetidas secciones geo eléctricas que se comparan con las obtenidas en el campo. El proceso interactivo se finaliza al simular un conjunto de datos y el resultado de ese proceso sea los más parecido posible a los datos de campo, lo cual se denomina error de tomografía RMS y es un punto importante en el trabajo de interpretación. La profundidad de escaneo resultante presenta una variabilidad amplia según la litología, pero puede oscilarse entre un rango de valores de un tercio a un cuarto de la apertura máxima del electrodo utilizado (Bordehore, 2020).

2.5.2 Resistividad eléctrica de suelos

La resistividad eléctrica del suelo es una propiedad específica que tiene el terreno a cierta profundidad. La medida indica la capacidad para conducir la corriente eléctrica, por lo tanto, cuando más débil sea la resistividad más débil será la resistencia de la toma de tierra construida en el lugar (Arnoux, 2015). La resistividad es muy variable según las regiones y la naturaleza relacionadas con la composición y el arreglo de los componentes sólidos del suelo, el contenido de agua y la temperatura pueden ser considerados como una forma de acceder al conocimiento de la variabilidad de las propiedades físicas (Charles et al., 2018).

Según Briceño (2015) el cálculo se obtiene indirectamente a partir de procesamiento de un conjunto de mediciones de campo cuya magnitud se expresa (Ωm) o (Ωcm) que es recíproco de la conductividad eléctrica. La resistividad del suelo depende de las propiedades inherentes de la formación geológica del mismo tales como: el tipo de suelo, el porcentaje de humedad, su composición química, la compactación del material, la temperatura, la estratificación del suelo, la mezcla de diferentes tipos de materiales y la concentración de sales disueltas en la humedad del suelo.

En el caso real de un terreno en cualquier región del mundo, es imposible considerar la homogeneidad, puesto que su naturaleza consecutiva se encuentra sujeta a influencias climáticas, lo cual hace que el suelo que esté compuesto por un solo material tenga variaciones en su resistividad en función de la profundidad principalmente debido a la variación en la capa freática y el grado de compactación del material. (Briceño, 2015).

Este método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno a través de un par de electrodos y la determinación mediante otro par de electrodos de la diferencia del potencial (Mayorga, 2020). Para Briceño (2015) la utilización de los cuatro electrodos para medir la resistividad ha contribuido al origen de diferentes dispositivos para esta medición. Los dispositivos usados frecuentemente en la prospección geo eléctrica son identificados como: dispositivo de Schlumberger y el dispositivo de Wenner. Estos dispositivos se diferencian por la distancia de la ubicación de los electrodos de medición del potencial. La principal premisa de estos dispositivos es la ubicación lineal de los electrodos de corriente y potencial.

2.5.3 Medición de la resistividad del suelo

Para Solana (2014) la medición de la resistividad del suelo en un lugar determinado, se supondrá que el suelo es un medio conductor semi- infinito próximo al aire, que se considera un medio semi-infinito totalmente aislado. Inicialmente se estudiará el caso de suelo uniforme, en el que se aplica una corriente en la tierra a través de un electrodo (punto) muy pequeño, con el electrodo de retorno ubicado a una distancia muy grande, de la distribución de corriente en el suelo tiene simetría axial alrededor del eje que pase por el punto de inyección de dicha corriente. El potencial eléctrico a lo largo de cualquiera de las superficies puede ser expresado como:

$$V = \frac{\rho l}{2\pi r} \quad (1)$$

Donde:

V: Voltaje

ρl : Resistividad

r: Diferencia de longitud

Para poder inyectar la corriente en la tierra y medir la diferencia del potencial se necesitan cuatro electrodos: dos electrodos a los que se aplica la corriente a la tierra denominados A y B y otros dos electrodos para medir la diferencia del potencial nombrada M y N. Por lo cual reordenando la ecuación anterior se obtiene que la resistividad ρ es:

$$P = \left[\frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM}\right) - \left(\frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN}\right) + \left(\frac{1}{BN}\right)} \right] \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Donde:

P : Medición de resistividad

ΔV : diferencia del potencial eléctrico mediada entre los electrodos M y N

AM, BM, AN, BN: Distancias geométricas entre los electrodos

K: Factor geométrico

2.5.4 Sondeo eléctrico vertical

Bordehore, (2020) hace referencia a los contrastes de resistividad geo eléctrica en diferentes profundidades. El objetivo es la obtención de un modelo de variación de la resistividad en función de la profundidad a partir de las mediciones realizadas en la superficie.

Es decir, el conjunto de determinaciones de la resistividad ejecutadas en el mismo tipo de dispositivos lineal y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción.

Para la determinar el sondeo vertical se realiza mediante una formula: Intensidad (I), mediante los electrodos (AB), el cual permite la medición de una diferencia del potencial (dV), entre los electrodos (MN). La diferencia geo eléctrica se obtiene mediante la ley de Ohm según la siguiente expresión.

$$R = \frac{KdV}{I} (3)$$

Donde:

R: Diferencia geo eléctrica

I: Intensidad

dV: Diferencia del potencial

K: Configuración geo eléctrica

2.6 Métodos para la medición de resistividad de suelo

2.6.1 Arreglo Wenner

El método de Wenner utiliza cuatro puntos alineados en línea recta y uniformemente espaciados. Se considera un método específico y popular, puesto que permite obtener la resistividad del suelo en las capas profundas sin enterrar los electrodos, no es necesario un equipo pesado para la medición, el resultado que se obtiene no es afectado por la resistencia de los electrodos auxiliares o los agujeros practicados para hundir al suelo, este método es utilizado para realizar a una medida en una única profundidad (Perdomo et al., 2013).

2.6.2 Configuración dipolo-dipolo

Este método consta de cuatro electrodos de forma lineal ABMN, en el perfil se usa ampliamente debido al débil acoplamiento entre los circuitos de la corriente y el potencial. La distancia entre los electrodos de la corriente es determinada por el factor “a” que es la distancias entre los electrodos del potencial. Además, este arreglo tiene otro factor llamado “n” para los estudios, con esta disposición el coeficiente “a” permanece fijo y se aumenta el coeficiente “n”

ya que con ellos se pretende aumentar la profundidad de la investigación. La configuración Dipolo-Dipolo tiene una alta resolución para el contraste de resistividad lateral, además posee una resolución más alta en niveles de superficies cercanas, en este arreglo puede presentar mayor número de mediciones por lo que es adecuada para la búsqueda de estructuras verticales como cavidades relativamente pobres, para encontrar estructuras horizontales como diques o capas sedimentarias (Lopez & Loke, 2010).

2.6.3 Método de Schlumberger

Es un método similar al procedimiento Wenner en el que los electrodos de emisión (corriente) y medición (voltaje) se encuentran en la línea recta, una variación de este método es la separación entre los electrodos del potencial MN es pequeña, comparada con la distancia entre los electrodos AB. Se aplica este método para realizar la medición de distintas profundidades y así poder crear perfiles geológicos de los suelos (Hernández & Esquivel, 2015).

2.7 Factor que influye en la resistividad

EL cálculo de la resistividad varía dependiendo el tipo de terreno y el clima, no es fijo durante tiempo ya que está influenciado por muchos factores como la naturaleza del terreno, la humedad, la temperatura, la salinidad, o el diseño de las capas del suelo (Solana, 2014).

2.7.1 Naturaleza de terreno

Frecuentemente los suelos de grano muy fino o fino tienen una resistividad baja, por lo que conducen mejor la electricidad que los suelos de grano medio y estos son mejores que los suelos de grano grueso. A medida que aumenta el tamaño del grano es decir la roca se envejece y se vuelve más densa, por el cual aumenta el valor de la resistividad. Por esta razón la grava tiene una resistividad más alta y la arena tiene una resistividad más alta que la arcilla (Goehring, 2018).

2.7.2 Humedad

La cantidad de la humedad del suelo también afecta a la resistividad: a medida que aumenta el contenido de humedad la resistividad disminuye. Es por ello que tratamos de tener terrenos húmedo para obtener mejores valores (Goehring, 2018).

2.7.3 Salinidad

Las sales tienen una gran influencia sobre la tierra, de tal manera que uno de los sistemas más utilizados para mejorar la resistividad del suelo es añadir sal en la caja del punto de puesta a la tierra o cerca de los electrodos si están accesibles. Este recurso de agregar sal o gel no es recomendable utilizar de manera general, para mejorar la resistividad del terreno, solo en situaciones que sean prácticamente imprescindibles, porque si construimos una tierra artificial debemos mantenerla en un tiempo extendido (Goehring, 2018).

2.7.4 Temperatura

La temperatura es un factor que influye en la resistividad del suelo, especialmente a bajas temperaturas. La resistividad aumenta al disminuir la temperatura y este agravamiento es más pronunciado cuando la temperatura desciende por debajo de 0°C ya que el agua contenida en el suelo se congela y esto empeora mucho a la resistividad. En regiones con climas continentales (verano caluroso e inviernos fríos) los electrodos de tierra deben colocarse a mayor profundidad, para evitar en lo posible el riesgo de temperatura bajo cero (Goehring, 2018).

2.7.5 Estratigrafía del terreno

Los electrodos se insertan en el suelo a diferentes profundidades. En distintas circunstancias cuando las varillas se introducen a gran profundidad, atraviesan diversas capas del terreno que son de naturaleza variable y por tanto tienen diferente resistividad. La resistividad medida con un telurómetro (medidor de tierra) será un valor medio dependiendo de la diversidad de las capas y sus espesores. En cualquier caso, se desconoce el terreno más

profundo, pero se recomienda la instalación de electrodos en profundidad siempre que las instalaciones y el terreno lo permita (Goehring, 2018).

2.7.6 Variaciones estacionales

Las estaciones también juegan un papel en el valor de la resistividad del terreno porque en la estación calurosa como el verano, el terreno estará más seco que en la estación lluviosa y la resistividad será mayor. Por este motivo, es recomendable realizar varias mediciones en diferentes estaciones del año para determinar la resistividad media e introducir los electrodos a una profundidad tal que las variaciones climáticas influyan lo menos posible en el suelo y la superficie de contacto de los electrodos (Goehring, 2018).

2.7.7 Compactación del terreno

Es recomendable compactar el terreno para que haya un buen contacto en el electrodo y el suelo, de modo que cuando el electrodo inserte con la maquina penetradora, no haya vibraciones que causen la separación entre la pica y el suelo (Goehring, 2018).

2.8 Software Res2DInv

Los levantamientos de imágenes eléctricas 2D se usan ampliamente para mapear áreas geológicas moderadamente compleja en el que los sondeos resistivos convencional son inadecuados. Los resultados de los estudios suelen trazar en forma pseudo-seccion y entrega una imagen casi distorsionada del subsuelo geológico. El programa RES2DINV utiliza la inversión de Gauss-Newton para generar el modelo de 2 dimensiones del subsuelo a partir de datos de resistividad aparente. Es completamente automatizado y el usuario ni siquiera tiene que proporcionar una plantilla de inicio.

El programa selecciona automáticamente los parámetros de inversiones óptimos para un conjunto de datos. Sin embargo, el usuario puede cambiar los parámetros que afectan al proceso inversión. El filtro suavizado se puede ajustar para resaltar las variaciones en la resistividad en dirección vertical u horizontal. Se proporcionan dos variantes diferentes del método smoothness constrained leastsquares. El primero optimizado para áreas en el que la resistividad de la

superficie varia de una forma suave y otro optimizado para áreas de límites claros (Geoelec, 2017).

2.9 Software Voxler 3D

Es un software que permite crea impresionantes visualizaciones en 3D de sus datos de forma rápida y específica, también importa fácilmente una variedad de formatos de archivos para crear hermosos modelos que le permite visualizar las relaciones en su conjunto de datos. Este programa ayuda mostrar datos en una variedad de formatos y colores, grabar un video animado de su modelo y elegir diferentes opciones para exportar imágenes y datos. Además, pueden filtrar por distracción, datos duplicados o áreas que dese eliminar e interactuar con los datos mientras ve todos los resultados de Voxler es ideal para los científicos de la tierra que estudian datos sísmicos perforaciones (verticales o desviadas), datos CPT, levantamientos GPR petrografía la teledetección entre otras (Software, 2019).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1 METODOLOGIA.

Ilustración 2. Metodología



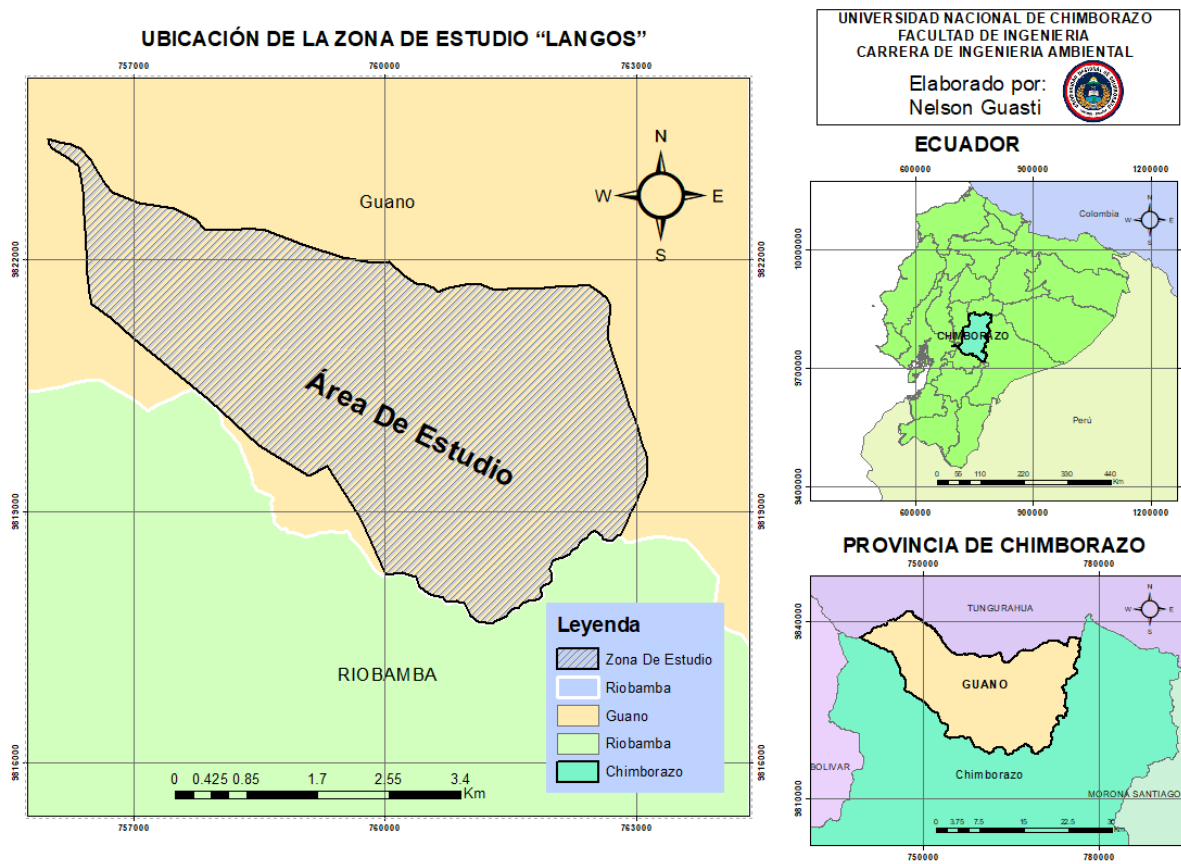
3.1 Tipo de estudio

La investigación es de enfoque cuantitativo diseño experimental realizado en un área estratégica de la comunidad Langos, Parroquia San Andrés y San Miguel pertenecientes al cantón Guano, tomando como base la estratigrafía del suelo de la superficie del estudio. Para identificar las zonas hidrológicas, el potencial hidrológico y realizar los estudios estratigráficos con el fin de determinar características hidrogeológicas mediante la tomografía eléctrica de resistividad.

3.2 Caracterización de la Zona de estudio

Es esencial realizar un diagnóstico ambiental del área con el fin de detectar la implicación de particularidades primordiales y las principales características de la zona de investigación como: la ubicación, topografía, geología, límites, hidrología e hidrogeología. Estos aspectos son de mucha importancia para la aplicación del método geofísico, puesto que es recomendable que carezca de relieves y construcciones que impidan el proceso. Estas propiedades son consideradas como una línea base ambiental y complementadas con estudios ya establecidos en el acuífero (Proaño & Mendoza, 2018).

Ilustración 3. Ubicación de la zona de Estudio



Fuente: Autor

3.3 Definición de puntos de monitoreo

Para el trabajo de campo es esencial el conocimiento de la zona de estudio como la asequibilidad, condiciones ambientales y la proximidad de las fuentes de agua. Tomando en cuenta la necesidad del estudio y la hidrología del área se define los puntos de monitoreo mediante el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) el cual nos ayudará a procesar las coordenadas de cada electrodo y la correcta interpolación e interpretación de datos.

3.4 Configuración de equipo Syscal pro en campo y adquisición de datos

Para realizar una tomografía bidimensional (2D) en un principio se colocan electrodos de manera equiespaciada en línea recta definiendo el inicio y el final del perfil, con el fin de no tener dificultades en la fase interpretación. Para obtener medidas eficientes de resistividad es

recomendable realizar dichas mediciones en una superficie lo más plana posible, sin embargo, en casos necesarios el software permite minimizar los posibles errores mediante ajuste de mallas.

Los electrodos se introducen en el terreno lo suficiente para mejorar el contacto electrodo-suelo en el momento de conectar el cable de transmisión. En el ordenador se configura las variables del dispositivo de adquisición: (48) electrodos utilizados, (5m) de distancia entre electrodos en línea recta, configuración de medida (Dipolo- Dipolo) y (968) número de medidas a realizar.

Estas variables se transfieren al dispositivo de adquisición para desarrollar una medición automática de la secuencia. Para iniciar las mediciones es esencial revisar que todas las conexiones funcionen adecuadamente y que la resistividad del electrodo-suelo sea lo más bajo con el fin de obtener resultados fiables. En el caso de que presente valores superiores se debe revisar la profundidad de los electrodos o humedecer el terreno para mejorar la conductividad. Una vez adquirida la información se transfiere al ordenador para el posterior procesamiento de datos mediante el software correspondiente (Solana, 2014).

3.5 Procesamiento de Datos

Los resultados obtenidos al realizar las mediciones de campo se presentan como una resistividad aparente en forma de pseudosección como una malla de discretización de dos dimensiones (2D). La pseudosección son curvas de iso-resistividades que reflejan cuantitativamente la variación espacial en (2D) de las resistividades aparentes de la sección estudiada. Los datos recopilados de la resistividad se importaron al software Res2dinv para realizar una inversión bidireccional completa de perfiles eléctricos de la superficie (Tenelema & Mendoza, 2017).

3.6 Modelamiento en 3D

Para el modelamiento tri dimensional (3D) de la zona de estudio se utilizó herramientas software como el programa Voxler3D el cual permite determinar los valores necesarios para una adecuada interpolación con datos de resistividad de los materiales litológicos existentes en el subsuelo.

3.7 Potencial hidrogeológico y proponer medida de conservación de aguas subterráneas.

Para determinar el potencial hidrogeológico se toma 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, utilizará: porosidad, fracturamiento, permeabilidad, transmisibilidad, y el coeficiente de almacenamiento. Además de información de uso del suelo, cobertura vegetal y asentamientos humanos que permitan 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
- Alternativas de recarga de manera natural y protegida

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

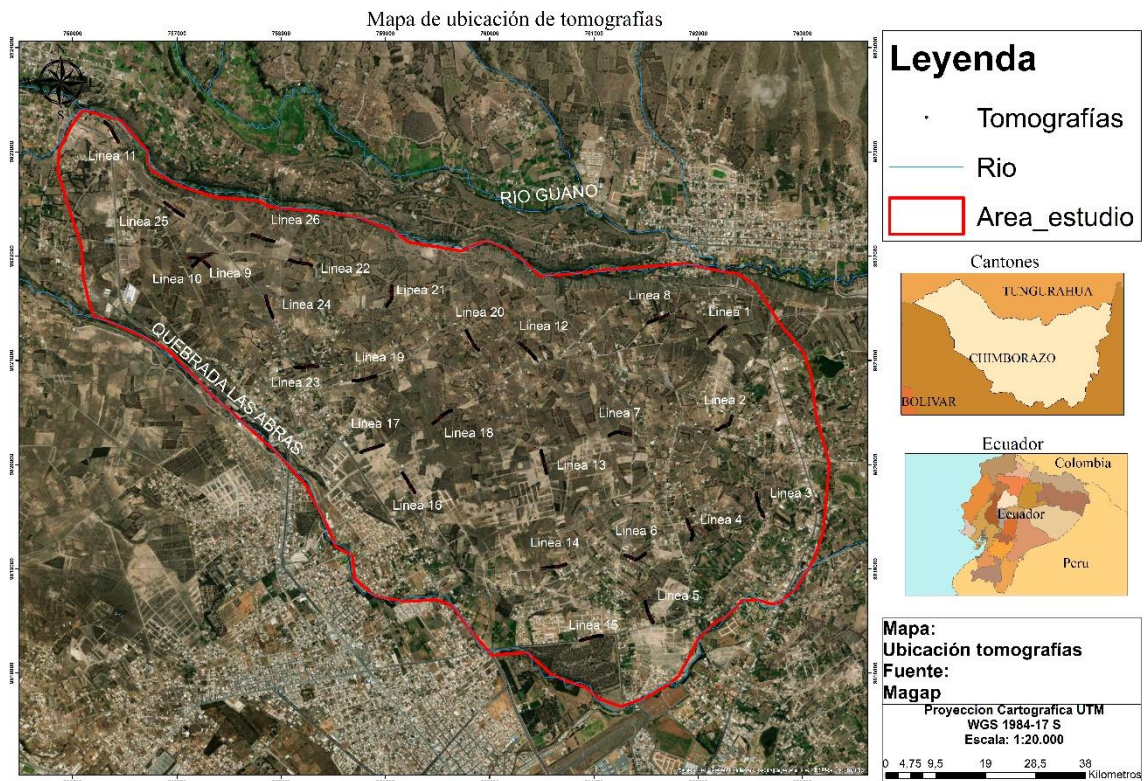
4.1 Descripción del área de estudio.

El análisis hidrogeológico en el cantón Guano, específicamente en las parroquias de Langos-San Andrés y San Gerardo, al encontrarse en una zona con un relieve muy amplio

resulta adecuada para el estudio propuesto. Las tomografías eléctricas de resistividad se realizaron de manera precisa y sin dificultad.

En el campo, se realizaron veintiséis tomografías eléctricas de resistividad, que se representaron en puntos de forma lineal. Estas mediciones permitieron describir la resistividad aparente del subsuelo de manera clara y precisa. (Grafico 2)

Ilustración 4. Mapa de ubicación de tomografías



Fuente: Autor

4.2 Descripción geología del área

El área estudio que se encuentra ubicada en la formación Riobamba PR (Pleistoceno), el cual está constituida por grabas redondeada y angulosas, esta compone la fase volcánica laharítica de Chimborazo, también algunos sectores presentan estratificación en el suelo (Mayorga, 2020)

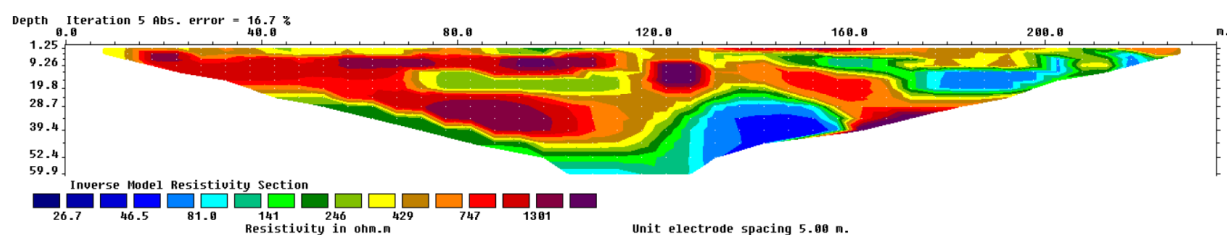
4.3 Estudio de las tomografías realizadas

Analisis e Interpretacion de la primera tomografía electrica.

La primera tomografía electrica presentó resistividades de 26.7 a 1301 Ohm*m (Grafico 3) por lo cual se evidencia la variabilidad de materiales que existen en la zona estudiada.

Por esta razon el rango de 26.7 a 81.0 Ohm*m muestra una coloracion azul, la cual se entiende que es una capa que tiene alto grado de permeabilidad, pudiendose encontrar con una acuífero subterraneo; a partir de la resistividad 141 Ohm*m muestra una gama de colores diferentes como por ejemplo tenemos colores verdes que son capas semipermeables y zonas de color naranja hasta lila lo que nos dice que son suelos impermeables o formaciones de roca.

Ilustración 5. 1ra Tomografía



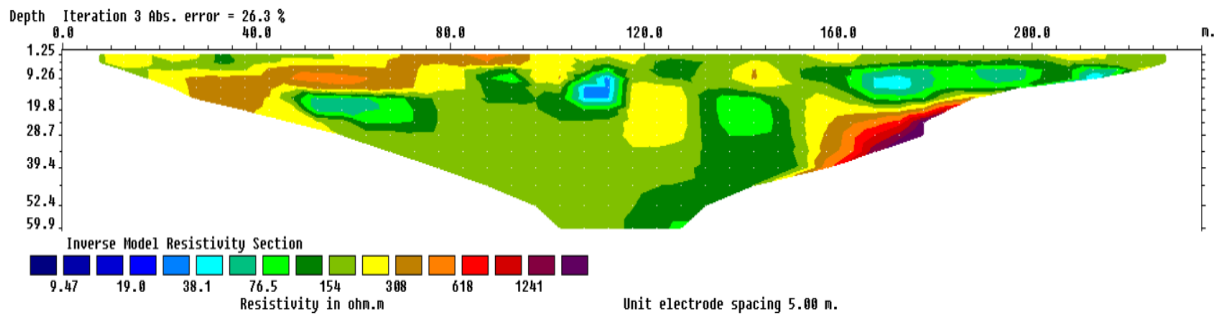
Fuente: Autor

Analisis e Interpretacion de la segunda tomografía electrica.

La segunda tomografía eléctrica de resistividad obtuvo un rango de resistividad entre 9.47 a 1241 Ohm*m, en el rango de 9.47 a 38.1 Ohm*m se observa una coloración azul lo que nos indica la presencia de masas de agua subterranas, las cuales están situadas a diferentes profundidades como se observa en la (Grafico 4), a partir de los 75 Ohm*m se reconoce diferentes perfiles suterraneos los cuales comprenden capas semi permeables del suelo,

finalmente a partir de 600 Ohm*m se observa diferentes conglomerados, los cuales tienen una gama de color rojiza hasta el color lila.

Ilustración 6.2da Tomografía

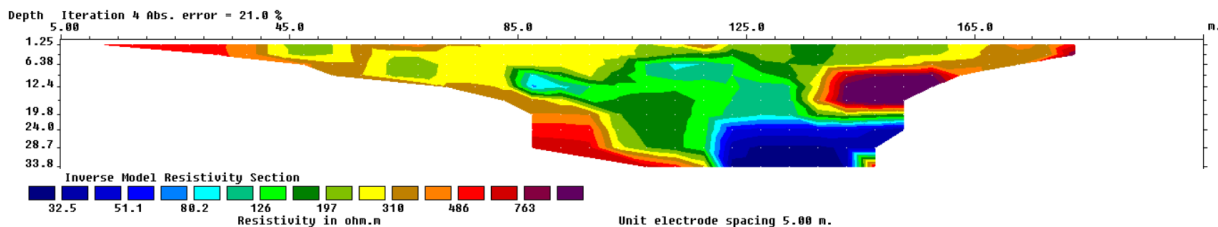


Fuente: Autor

Analisis e Interpretacion de la tercera tomografía eléctrica.

La tercera tomografía de resistividad eléctrica arrojó datos de resistividad entre 32.5 a 763 Ohm*m, en el rango de 32.5 a 80.2 Ohm*m comprende una coloración azul, la cual indica un manto freatico interno a una profundidad aproximada de 25 metros, rodeado de diferentes tipos de capas semipermeables e impermeables. (Grafico 5)

Ilustración 7.3ra Tomografía

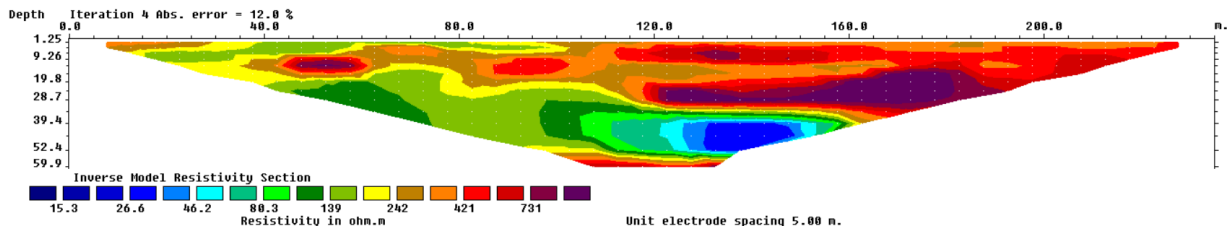


Fuente: Autor

Analisis e Interpretación de la cuarta tomografía eléctrica.

La cuarta tomografía eléctrica de resistividad, arrojó resistividades entre 15.3 a 731 Ohm*m como se observa en la (Grafico 6); con resistividad de entre 242 a 731 Ohm*m comprende suelos impermeables que predominan en la parte mas alta del grafico, sin embargo en el rango de resistividad de entre 15.3 a 46.2 Ohm*m se observa una masa de agua a una profundidad aproximada de 30 metros.

Ilustración 8. 4ta Tomografía



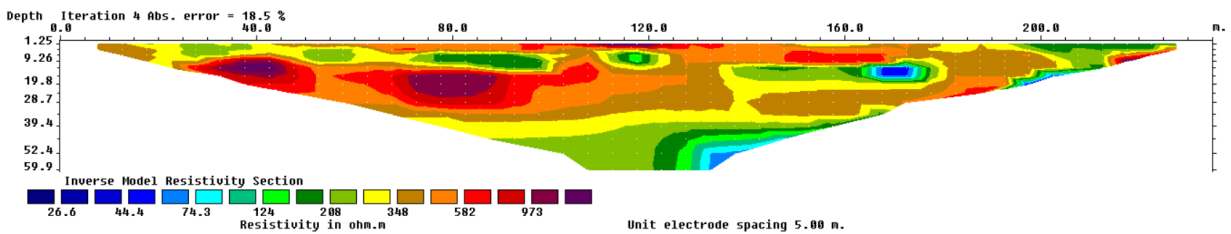
Fuente: Autor

Analisis e Interpretación de la quinta tomografía eléctrica.

La quinta tomografía de resistividad eléctrica (Grafico 7) de resistividad presenta un rango de resistividad de entre 26.6 a 973 Ohm*m, con esto valores se constata la presencia de diferentes materiales semipermeables de la zona de estudio.

En el rango de resistividad de 26.6 a 74.3 Ohm*m que tiende a una gama de color azul a celeste muestra la presencia de masas de agua distribuidas a lo largo de la zona de estudio y a diferentes profundidades.

Ilustración 9.5ta Tomografía



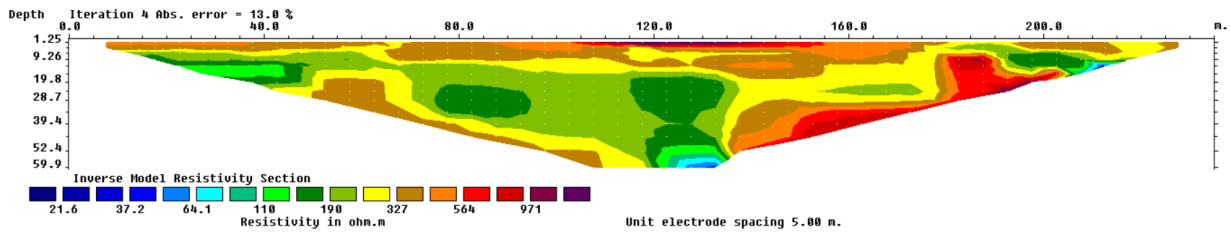
Fuente: Autor

Analisis e Interpretación de la sexta tomografía eléctrica.

La sexta tomografía de resistividad eléctrica (Grafico 8) se observa un rango de resistividad de 21.6 a 971 Ohm*m, donde se observa que en el rango de resistividad de 100 a 971 Ohm*m existe suelos semipermeables los cuales permiten la recarga del acuífero subterráneo pero de una forma lenta, en el rango de resistividad de 21.6 a 64.1 Ohm*m se

muestra en una gama de colores de celeste a azul, que se tiene una presencia mínima a los 60 metros.

Ilustración 10.6ta Tomografía



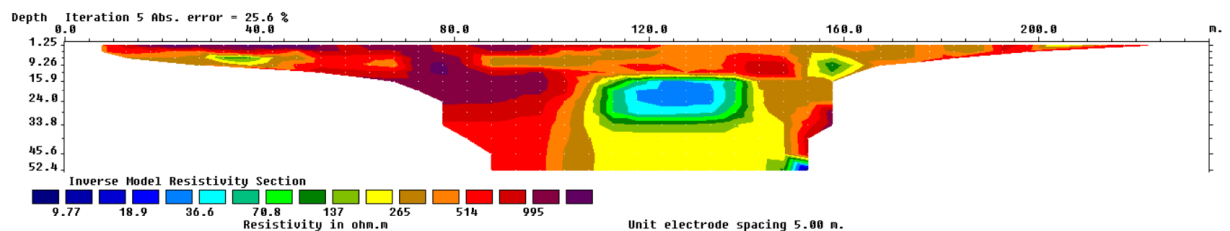
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la séptima tomografía eléctrica.

La séptima tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 9) muestra un rango de resistividad de 9.77 a 18.9 Ohm*m, donde se observa los diferentes perfiles o zonas del subsuelo de la zona de estudio.

Dentro del rango de resistividad de 9.77 a 36.6 Ohm*m toma una coloración azul a celeste lo que muestra un cuerpo de agua subterránea a una profundidad aproximada de 16 y 40 metros, así también en el rango de resistividad de 256 a 995 Ohm*m se encuentra suelos impermeables que no permiten la recarga hídrica en la zona.

Ilustración 11. 7ma Tomografía



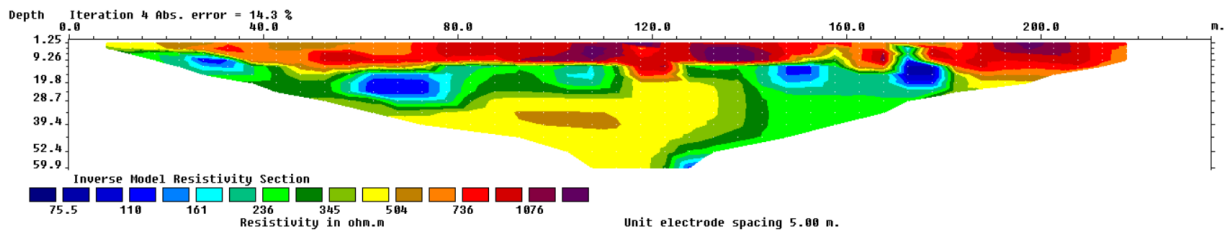
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la octava tomografía eléctrica.

La octava tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 10) muestra un rango de resistividad entre 75.5 a 1076 Ohm*m.

Los cuales en el rango de 75.5 a 161 Ohm*m se observa diferentes masas de agua a diferentes profundidades, sin embargo tienen una cualidad que la mayoría están a una profundidad aproximada de entre los 10 a 30 metros, en cambio esta vez presenta una parte superior impermeable con resistividades de 504 a 1076 Ohm*m.

Ilustración 12. 8va Tomografía



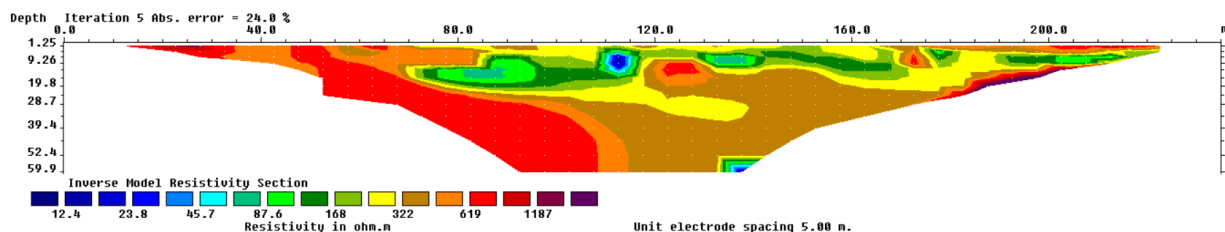
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la novena tomografía eléctrica.

La novena tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 11) muestra datos de resistividad de entre 12.4 a 1187 Ohm*m, en los cuales se aprecia diferentes zonas y perfiles en la parte subterránea de la zona de estudio.

En el rango de 12.4 a 45.7 Ohm*m de resistividad, se encuentra un único punto de localización que muestra la gama de colores de azul a celeste, sin embargo se observa que en esta tomografía de resistividad eléctrica predominan las zonas impermeables por las mismas características físicas que se observó al momento de trabajo de campo estas zonas están dadas en un rango de resistividades de entre 322 a 1187 Ohm*m.

Ilustración 13. 9na Tomografía



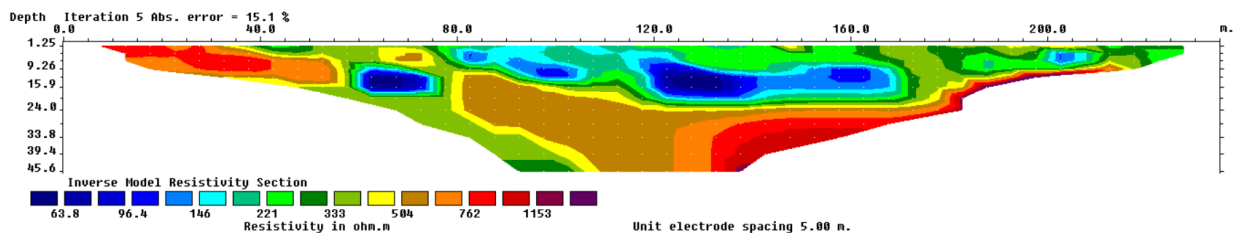
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima tomografía eléctrica.

La décima tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 12) muestra datos de resistividad de entre 63.8 a 1153 Ohm*m en los cuales se observa diferentes zonas, perfiles o estratos internos de la zona de estudio.

En el rango de resistividad de entre 63.8 a 146 Ohm*m muestra diferentes zonas que contienen masas de agua interna a diferentes profundidades de entre 1.25 a 25 metros, la cual es de importancia por el tipo de estudio que se realiza, también muestra zonas semi permeables con un rango de resistividad de entre 221 a 504 Ohm*m con una coloración turquesa a amarillo y zonas impermeables con resistividades de entre 762 a 1153 Ohm*m.

Ilustración 14. 10ma Tomografía



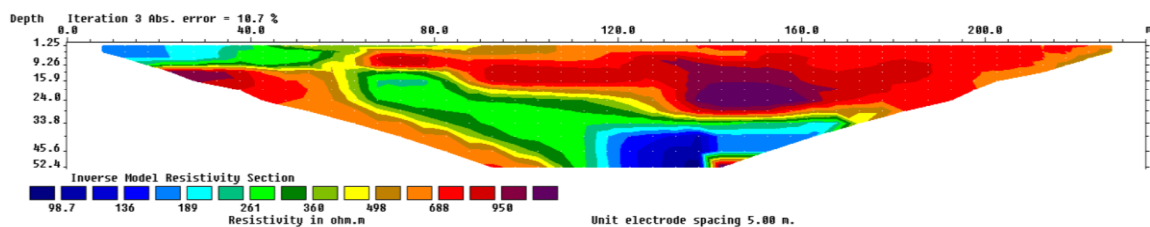
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima primera tomografía eléctrica.

En la decimo primera tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 13) muestra datos de resistividad de entre 98.7 a 950 Ohm*m en los cuales muestra la presencia de suelos impermeables en gran proporción con un rango de resistividad de entre 498 a 950 Ohm*m.

En el rango de 98.7 a 189 Ohm*m de resistividad muestra diferentes masas de agua a diferentes profundidades, como es de entre 1.25 a 10 metros y entre 33.8 a 53 metros, así también se observa materiales semi permeables con resistividades de entre 261 a 360 Ohm*m el cual rodea a las masas de agua antes mencionadas y esto facilita su recarga mediante infiltración.

Ilustración 15. 11va Tomografía



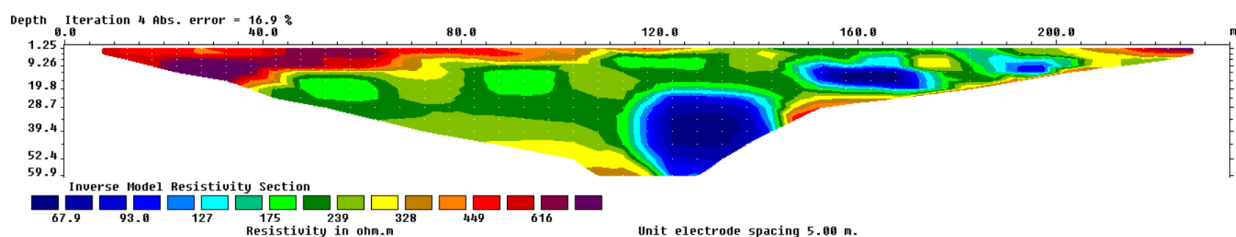
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima segunda tomografía eléctrica.

En la décimo segunda tomografía eléctrica de resistividad se observa un rango de resistividad de entre 67.9 a 616 Ohm*m los cuales estan divididos en diferentes gamas de colores y las mismas muestran materiales diferentes y características diferentes.

En el rango de resistividad de entre 67.9 a 127 Ohm*m muestra una gama de colores de celeste a azul lo cual se interpreta como parte de un acuífero subterráneo que se encuentra en una profundidad de 19m hasta los 60m, en el Grafico 14 observa que está rodeado de material semi permeable, esto se define por la resistividad que oscila entre 175 a 239 Ohm*m y mantiene una gama de colores de entre verde a amarillo.

Ilustración 16. 12va Tomografía

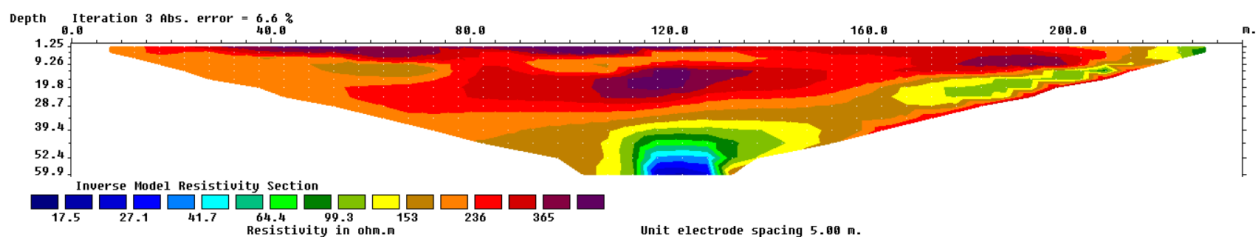


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima tercera tomografía eléctrica.

En la décima tercera tomografía eléctrica de resistividad abarca un rango de resistividad de entre 17.5 a 365 Ohm, en el rango de resistividad de entre 153 a 365 Ohm*m se observa que abarca la mayor parte de la (Grafico 15) muestra en una gama de colores de entre café a lila mostrando diferentes estratos del subsuelo, estos pueden ser arcillas que son materiales impermeables lo cual impide la infiltración de agua hacia parte del acuífero subterráneo que se muestra en una gama de colores de celeste a azul con una resistividad de entre 17.5 a 41.7 Ohm*m, aunque esta parte del acuífero está rodeado por suelos semi permeables que se muestra con una resistividad de 64.4 a 99.3 Ohm*m en una gama de colores verde a amarillo.

Ilustración 17. 13va Tomografía



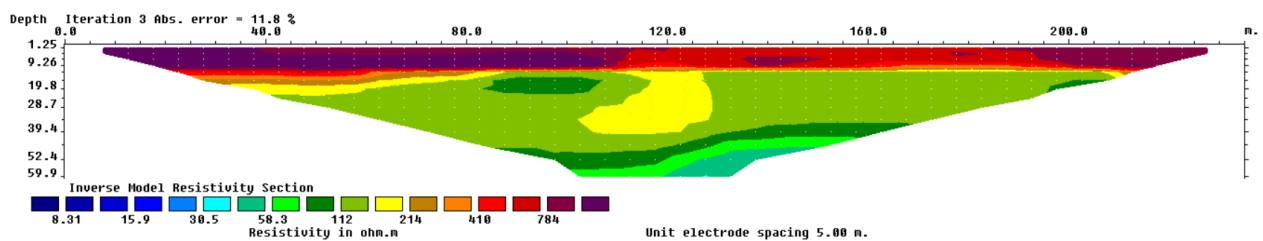
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima cuarta tomografía eléctrica.

En la décimo cuarta tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 16) se observa un rango de entre 8.31 a 784 Ohm*m mostrando diferentes estratos de la zona de estudio.

Dentro del rango de resistividad de 58.3 a 112 Ohm*m muestra suelos semi permeables de color verde hasta amarillo, con una gama de colores de verde a amarillo, más sin embargo en el rango de resistividad de 214 a 784 Ohm*m muestra suelos impemeables, los cuales se encuentran en la aprte superior de la zona de estudio.

Ilustración 18. 14va Tomografía

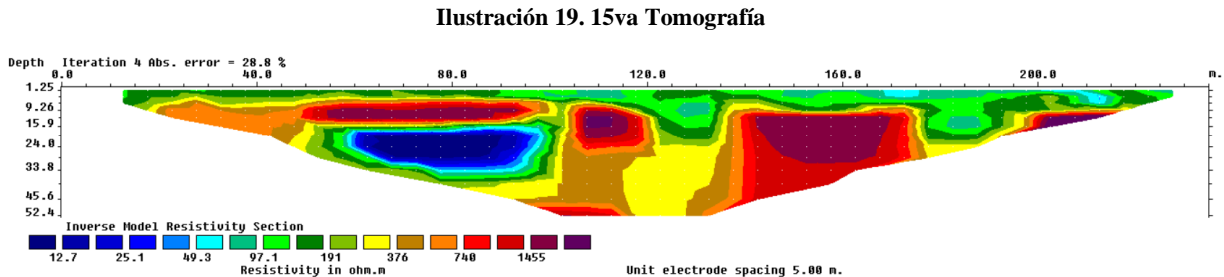


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima quinta tomografía eléctrica.

En la decimo quinta tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 17) muestra un rango de resistividad de entre 12.7 a 1455 Ohm*m en la cual se observa tipos de suelos.

En el rango de resistividad de entre 12.7 a 49.3 Ohm*m muestra una masa de agua que se encuentra aproximadamente a una profundidad de 15.9 a 34 metros, esta se puede observar con una gama de colores de azul oscuro a celeste, en la imagen tambien se puede observar zonas semi permeables con una resistividad de 97.1 a 191 Ohm*m en una paleta de colores de entre verde a amarillo, así también se muestra zonas impermeables de color rojo a lila las cuales impiden la recarga del acuífero subterráneo, estos muestran una resistividad de 740 a 1455 Ohm*m.



Fuente: Autor

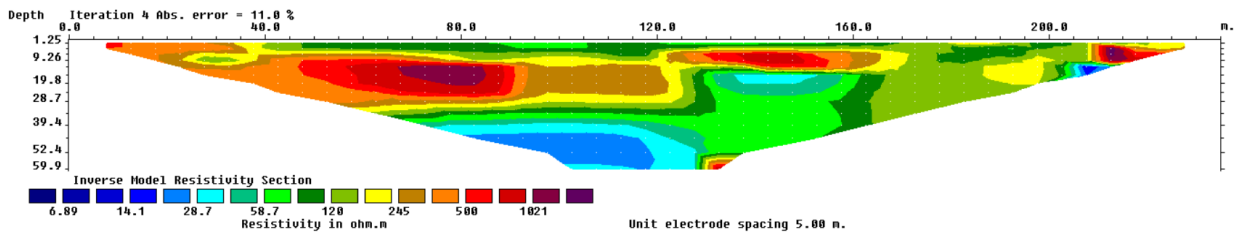
Análisis e Interpretación de la décima sexta tomografía eléctrica.

En la décimo sexta tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 18) muestra un rango de resistividad de 6.89 a 1021 Ohm*m en la cuál se puede identificar diferentes características del subsuelo de la zona de estudio.

En el rango de resistividad de entre 6.89 a 28.7 Ohm*m se observa una coloración azul a celeste lo que comprende masas de agua que se encuentran a diferentes profundidades como se

logra observar en la imagen. Así también se muestra resistividades de entre 58.7 a 1021 Ohm*m los cuales hacen alusión a suelos semi permeables, los cuales permiten una recarga del acuífero subterráneo, de otra forma se muestra resistividades de entre 245 a 1021 Ohm*m los cuales reflejan suelos impermeables en ciertas zonas entre los 9m a 30m.

Ilustración 20. 16va Tomografía



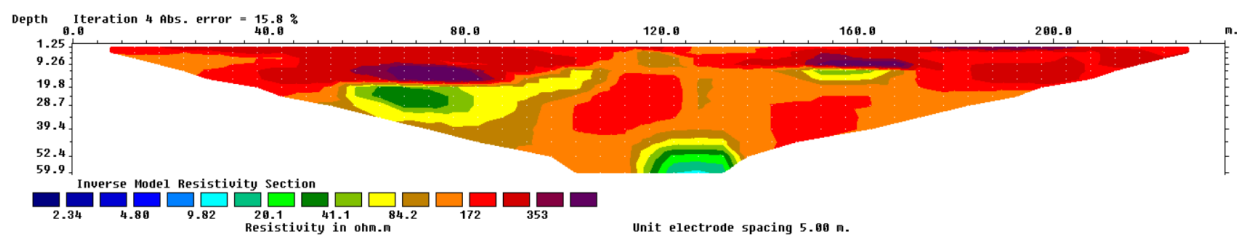
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima séptima tomografía eléctrica.

En la décimo séptima tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 19) se muestra el rango de resistividad de entre 2.34 a 353 Ohm*m los cuales muestran diferentes tipos de estratos subterráneos de la zona.

En el grafico 19 muestra que los estratos con mayor predominancia en la zona son los suelos impermeables que tienden a una coloración café arenoso a lila con un rango de resistividad de entre 84.2 a 353 Ohm*m.

Ilustración 21. 17va Tomografía



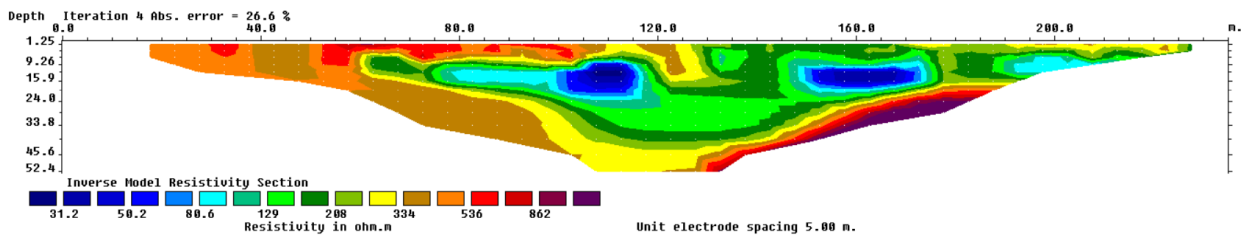
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima octava tomografía eléctrica.

En la décimo octava tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 20) muestra componentes variados, es decir que existe gran cantidad de información de esta zona de estudio, como se puede observar en la imagen, el rango de resistividad de entre 31.2 a 80.6 Ohm*m

muestra masas de agua que pueden pertenecer a un acuífero subterráneo localizado en esta zona de estudio, así mismo se observa material semi permeable que abarca una resistividad de entre 129 a 208 Ohm*m los cuales permiten una rapida recarga de este acuífero antes mencionado este tipo de materiales muestra en una gama de colores de entre verde a amarillo, también se identifica suelos impermeables que tienen una resistividad de entre 334 a 862 Ohm*m estas resistividades se muestran de un color café a lila.

Ilustración 22. 18va Tomografía



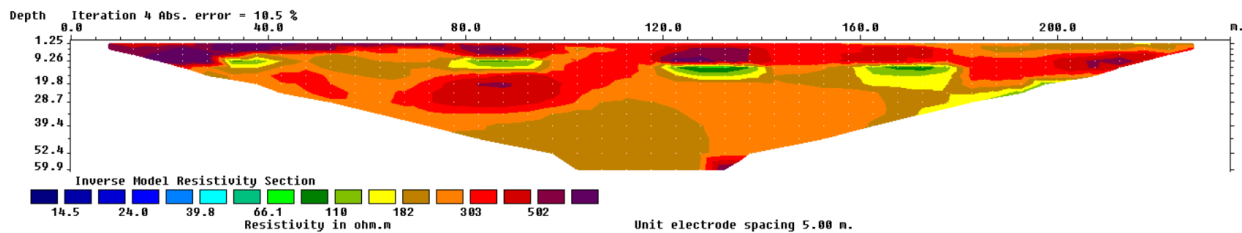
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima novena tomografía eléctrica.

En la décimo novena tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 21) contiene un rango de resistividades de entre 14.5 a 502 Ohm*m.

En esta zona de estudio se observa un rango de resistividad de entre 66.1 a 110 Ohm*m los cuales son suelos semi permeables con una gama de colores de verde a amarillo y un rango de resistividades de entre 182 a 502 Ohm*m con una gama de colores de café a lila, como se puede observar este es la resistividad con mayor predominancia por el tipo de suelo que se encontraba en la zona.

Ilustración 23. 19na Tomografía

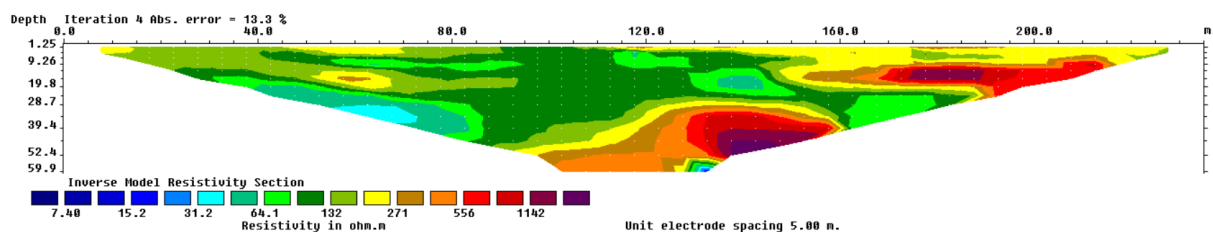


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la vigésima tomografía eléctrica.

En la vigésima tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 22) muestra diferentes zonas y materiales en el área de estudio, esta tomografía contiene un rango de resistividad de entre 7.40 a 1142 Ohm*m, se observa resistividades de 64.1 a 132 Ohm*m las cuales muestran suelos semi permeables que se encuentran en casi toda la tomografía, finalmente presenta resistividades de entre 271 a 1142 Ohm*m las cuales identifican suelos impermeables con una gama de colores de café a lila, que se encuentra en la parte mas baja del grafico.

Ilustración 24. 20mo Tomografía

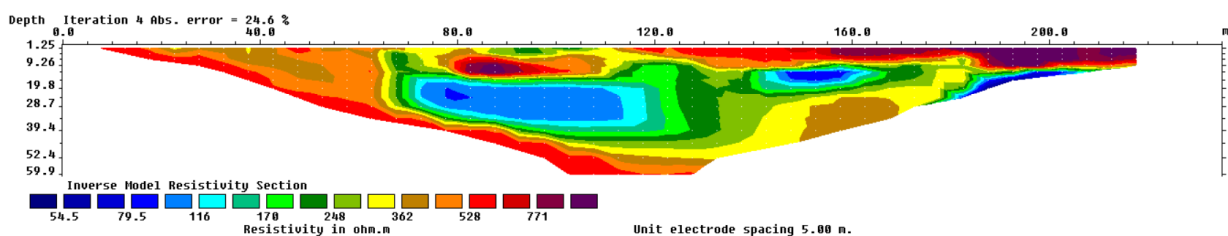


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la vigésima primera tomografía eléctrica.

En la vigésima primera tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 23) muestra un rango de resistividad de entre 54.5 a 771 Ohm*m los cuales albergan diferentes estratos y materiales de forma subterránea en la zona de estudio. En el rango de resistividad de 54.5 a 79.5 Ohm*m muestra diferentes masas de agua que se albergan a una profundidad variable, los cuales son parte del acuífero subterráneo de la zona, así mismo estas masas de agua están rodeadas de suelos semi permeables que ayudan a su recarga de forma natural a través de la infiltración, esto se interpreta debido a sus resistividades que van desde 116 a 248 Ohm*m con una gama de colores de verde a amarillo, finalmente se observa una gama de colores de café a lila los cuales son suelos impermeables que retardan la recarga del acuífero subterráneo, estos muestran resistividades de 362 a 771 Ohm*m.

Ilustración 25. 21ra Tomografía

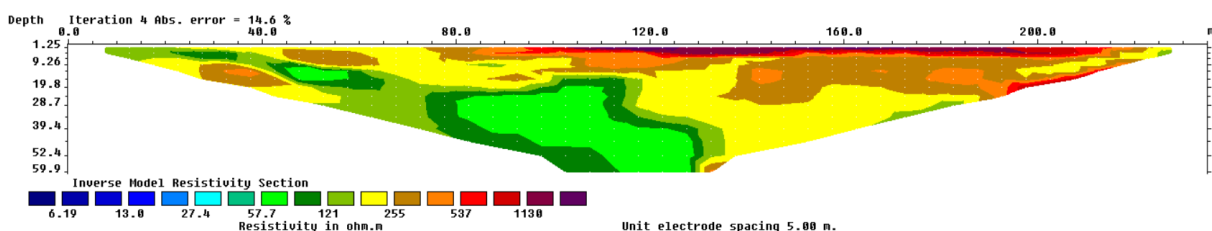


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la vigésima segunda tomografía eléctrica.

En la vigésima segunda tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 24) muestra un rango general de resistividad de entre 6.19 a 1130 Ohm*m, lo cuales muestran aspectos subterranos diferentes en el subsuelo de la zona de estudio, se observa un rango de resistividad de 57.7 a 121 Ohm*m los cuales muestran suelos semi permeables los caules ayudan a la facil recarga de las masas de agua que se encuentran en la zona de estudio. Tambien se observa un rango de resistividad de 255 a 1130 Ohm*m los cuales aducen a suelos impermeables, los cuales impiden el libre paso de agua superficial, es decir impiden la infiltración, estas zonas muestran una gama de colores de entre café a lila.

Ilustración 26. 22da Tomografía



Fuente: Autor

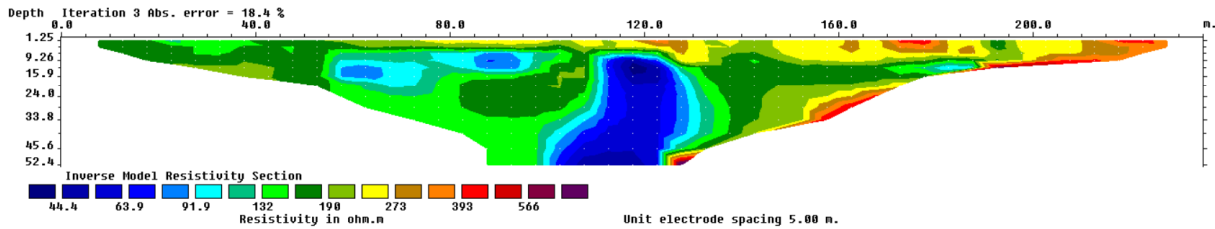
Análisis e Interpretación de la vigésima tercera tomografía eléctrica.

En la vigésima tercera tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 25) muestra un rango de resistividad de entre 44.4 a 566 Ohm*m los cuales muestran diferentes componentes que se encuentran de forma subterranea en la zona de estudio

En el rango de resistividad de 44.4 a 91.9 Ohm*m muestra parte de un acuífero subterranee que se encuentra a diferentes profundidades, sin embargo la zona más notoria se

encuentra a 120 metros de forma vertical al análisis de campo y esta masa de agua se encuentra a aproximadamente 10 metros de profundidad y se la identifica hasta llegar al límite de profundidad que tiene el equipo utilizado, así mismo existe un rango de resistividad de 132 a 190 Ohm*m los cuales muestran suelos semi permeables; estos ayudan a la fácil y rápida recarga de un acuífero subterráneo como claramente se observa en la imagen.

Ilustración 27. 23ra Tomografía



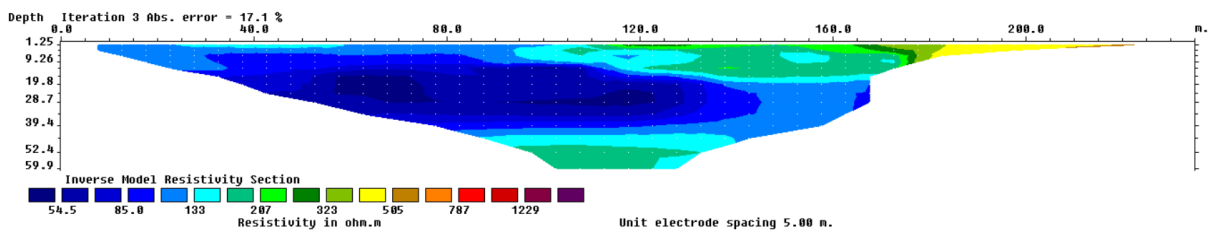
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la vigésima cuarta tomografía eléctrica.

En la vigésima cuarta tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 26) muestra una resistividad de 54.5 a 1229 Ohm*m los cuales abarcan diferentes tipos de componentes subterráneos.

En el rango de resistividad de 54.5 a 133 Ohm*m muestra masas de agua subterráneas que forman parte de un acuífero subterráneo, el cual se observa en la mayoría de la imagen, así también existe un rango de resistividad de entre 207 a 323 Ohm*m el cual muestra zonas semi permeables, y como se observa en la imagen hay pocas zonas.

Ilustración 28. 24ta Tomografía



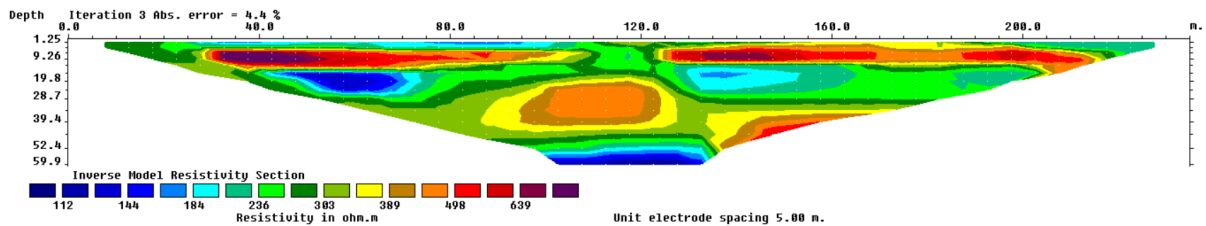
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la vigésima quinta tomografía eléctrica.

En la vigésimo quinta tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 27) muestra un rango de resistividad de entre 112 a 639 Ohm*m las cuales albergan diferentes componentes en el subsuelo de la zona de estudio.

En el rango de resistividad de 112 a 184 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 236 a 303 Ohm*m muestra suelos semi permeables los cuales ayudan a su fácil y rápida recarga de estas masas de agua, estos componentes muestran una gama de colores de verde a amarillo, sin embargo también existe un rango de resistividad de 389 a 639 Ohm*m el cual muestra zonas impermeables que se muestran en una gama de colores de café a lila.

Ilustración 29. 25ta Tomografía



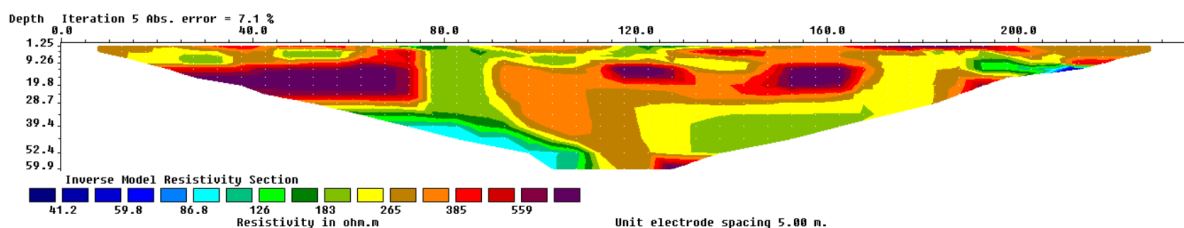
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la vigésima sexta tomografía eléctrica.

En la vigésima sexta tomografía eléctrica de resistividad (Grafico 28) muestra un rango de resistividad de 41.2 a 86.8 Ohm*m en el cual hay varios componentes que se pueden analizar.

En el rango de resistividad de 41.2 a 86.8 Ohm*m que sostiene una gama de color azul a celeste muestra masas de agua subterránea, las cuales no están presentes en gran cantidad, así mismo muestra un rango de resistividad de 126 a 183 Ohm*m los cuales se los puede definir como suelos semi permeables que cumplen la función de permitir el paso del agua superficial, finalmente se muestra una resistividad de 265 a 559 Ohm*m que muestran suelos impermeables, estos están dados en una gama de colores de café a lila.

Ilustración 30. 26ta Tomografía



Fuente: Autor

4.4 Análisis e interpretación de estratigrafía 3D

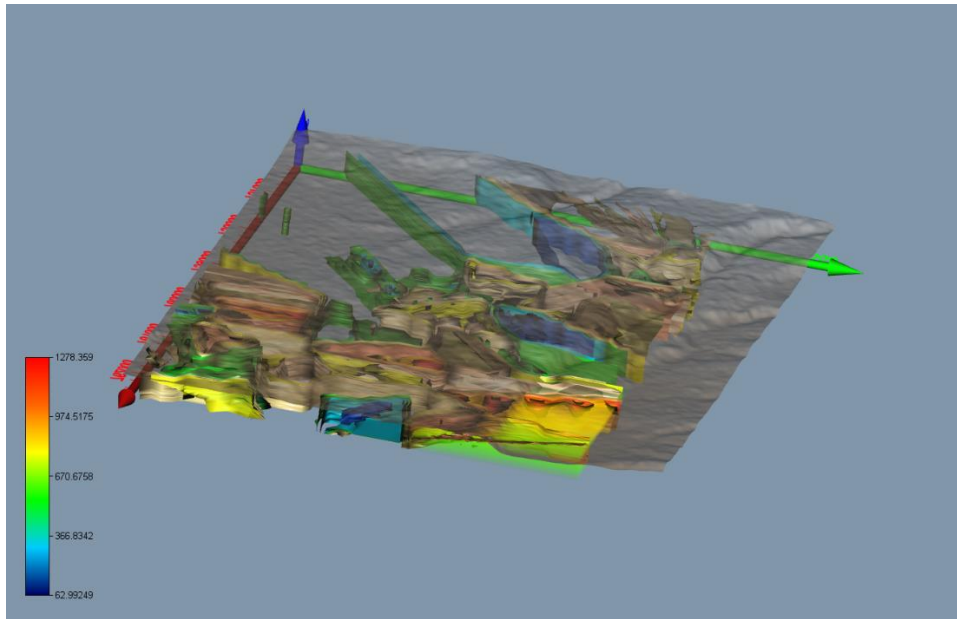
Al terminar de analizar e interpretar las tomografías eléctricas de resistividad se procedió a hacer un análisis en tres dimensiones (3D) para lo cual se utilizó el software Voxler 4 que ayuda al modelamiento, esto lo realiza con interpolaciones automatizadas en el mismo.

Obteniendo como resultado la (Figura 1, 2 y 3) en la cual se puede observar claramente los suelos permeables, semi permeables, impermeables, rocas, entre otros componentes subterráneos, y claramente se observa el acuífero subterráneo que está presente en la zona de estudio, este presenta una gama de colores de azul a celeste.

En la representación también se puede observar el mínimo y máximo de resistividad que interpola el software que va desde los 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. estos datos fueron obtenidos mediante una ortofoto.

Figura 1

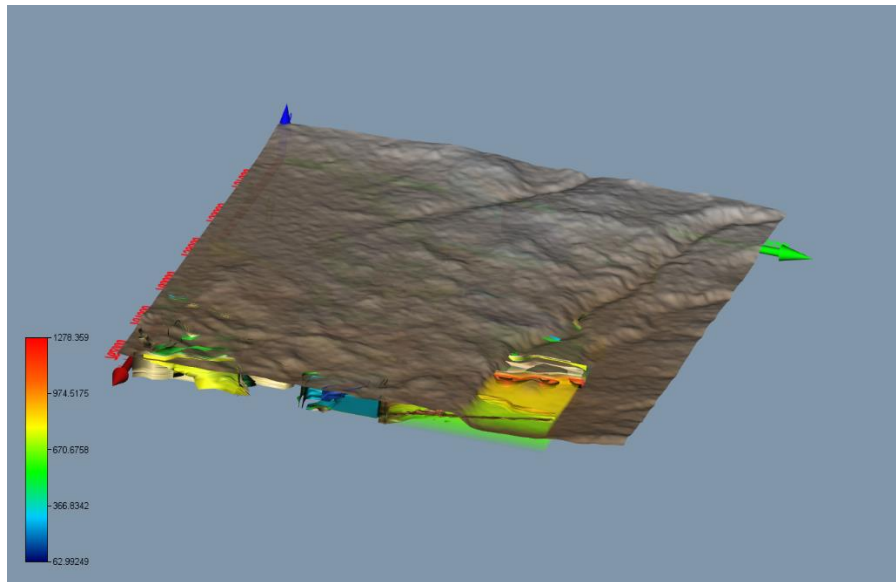
Ilustración 31. Modelamiento en tres dimensiones 3D zona completa del estudio



Fuente: Autor

Figura 2

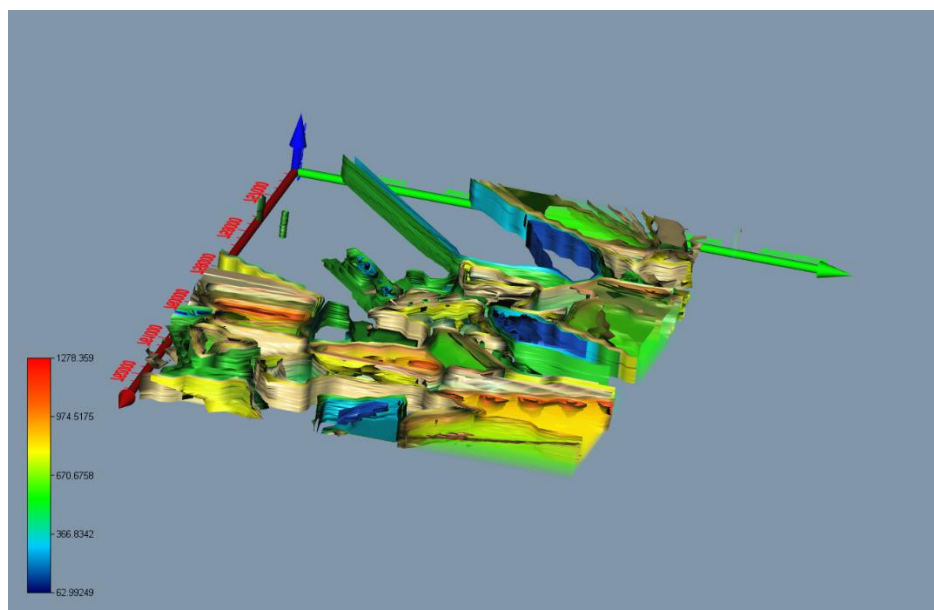
Ilustración 32. Modelamiento en tres dimensiones 3D zona superficial del estudio



Fuente: Autor

Figura 3

Ilustración 33. Modelamiento en tres dimensiones 3D vista inferior



4.5 Fuente: Autor Resultado de las encuestas aplicadas

Tabla 1. Resultado de las encuestas aplicadas

N°	Pregunta	Análisis e Interpretación
1	<p>¿Conoce usted como llega el agua de consumo a su vivienda?</p>	<p>En el (Anexo 1) el 86.4% de la población menciona que conoce la forma en cómo llega el agua hacia sus hogares, el 8.6% de los moradores encuestados mencionan que en la parroquia existen tanques comunales que albergan el recurso hídrico y de ahí son dotados a sus hogares, así mismo el 3.6% de personas manifiestan que desconocen la procedencia del agua que consumen en sus hogares, y tan solo el 1.4% de habitantes aducen que el agua no es entubada y desconocen su procedencia.</p>
2	<p>¿Tiene conocimiento de la calidad de agua de consumo?</p>	<p>Se observa en el (Anexo 2) el 68.6% de la población aduce que el agua es clorada, por el mismo hecho de la turbidez con la que sale del grifo en sus hogares,</p>

		<p>el 25% de los moradores mencionan que el agua es de buena calidad, esto sería sujeto a análisis ya que para llegar a este resultado se debería hacer un análisis en el laboratorio y determinar la calidad de la misma, así mismo el 6.4% desconoce de la calidad de agua que ingieren a diario, por el mismo hecho de desconocer de un estudio previo del agua de la zona.</p>
3	<p>¿Sabe usted el origen del agua que usted bebe?</p>	<p>En el (Anexo 3) el 84.3% de los encuestados mencionan que proviene de un manantial, vertiente u ojo de agua que están alejados de las zonas pobladas, también el 8.6% de las personas mencionan que el agua es proveniente de una quebrada que existe en la zona, así mismo el 6.4% mencionan que el agua ingerida es obtenida de un río que pasa por la zona, y el 0.7% de las personas mencionan que el agua proviene de la lluvia y esta es recolectada y almacenada en tanques fuera de sus hogares.</p>
4	<p>¿Quién gestiona el agua de consumo?</p>	<p>En el (Anexo 4) el 65% de la población manifiestan que la empresa de agua potable es la encargada de administrar y gestionar la dotación del recurso hídrico, más sin embargo el 32.9% de los pobladores mencionan que la junta de agua es la encargada en la zona, y el 2.1% de los encuestados mencionaron que desconocen que entidad está a cargo de la gestión del agua.</p>
5	<p>¿Cuántas horas al día dispone de agua potable?</p>	<p>En el (Anexo 5) el 92.1% de los moradores mencionaron que el flujo de agua potable es constante durante el día y noche, así también dijeron</p>

		que esto puede ser porque cuentan con tanques de reserva de agua en sus hogares, sin embargo, el 5.7% de las personas mencionaron que cuentan con agua potable 12 horas al día, es decir todo el día y en la noche carecen de este servicio, y el 2.1% de la población menciona que son dotados de agua potable tan solo 5 horas al día.
6	¿Cuánto paga anualmente usted por el consumo de agua potable de su familia?	En el (Anexo 6) el 56% de personas mencionan para de 50 a 100 dólares americanos anualmente, es decir un aproximado de 8.33 dólares mensuales, así también el 44% de los pobladores mencionan que pagan menos de 50 dólares americanos anualmente, es decir un aproximado de 4.16 dólares mensuales, estos valores dependerán de cuantos metros cúbicos mensuales consuma cada hogar.
7	¿Cuánto paga la junta por la concesión de agua potable en su comunidad?	En el (Anexo 7) el 51.4% menciona que para ser adjudicados de agua potable en su hogar deben para de 200 a 500 dólares americanos a la junta de agua de la zona, así también el 30% de las personas manifiestan que pagan menos de 200 dólares americanos para su adjudicación y el 18.6% de moradores manifestaron que debieron pagar más de 1000 dólares americanos para poder gozar del recurso hídrico.
8	¿Como miden el consumo de agua en casa para el pago? mensual/anualmente?	En el (Anexo 8) el 79.3% de pobladores mencionaron que el consumo de agua mensual en sus viviendas es determinado por un medidor de agua potable, sin embargo, el 20.7% de moradores adujeron que tienen un valor promedio mensual a

		pagar por este servicio, es decir un precio fijo que no varía según su consumo.
9	¿Existe alguna sentencia del agua de consumo?	En el (Anexo 9) el 60.7% de los moradores mencionaron que, si existe una sentencia de consumo de agua potable vigente en la zona de estudio, así también el 39.3% de personas mencionan que dicha sentencia no existe o no está vigente, esta sentencia hace mención de que si una persona no hace el pago por el consumo será privada del recurso hídrico de forma inmediata.
10	¿Tiene conocimiento sobre cuantas familias son dotadas de agua potable en la comunidad?	En el (Anexo 10) el 53% de los encuestados mencionaron que entre 100 a 200 familias son dotadas del recurso hídrico en la zona, sin embargo, el 36% de comuneros mencionaron que más de 300 familias se benefician del recurso hídrico, y tan solo el 11% de los encuestados aducen que de 20 a 50 familias son las beneficiadas.
11	¿Estaría dispuesto a compartir agua potable con las comunidades vecinas?	En el (Anexo 11) el 80% de las personas encuestadas están de acuerdo en compartir el recurso hídrico porque están al tanto del desabastecimiento de agua potable que está atravesando el sector en general, aducen también que todas las personas deberían de gozar del agua potable y no ser prohibidas de este derecho; y el 20% de los moradores mencionan que no están de acuerdo en compartir el agua ya que ellos no tendrían el caudal suficiente para cubrir sus actividades diarias.
12	¿Cree que los cambios en la cobertura del suelo afectan a la	En el (Anexo 12) el 90.7% de encuestados mencionan que la cobertura del suelo en las

	calidad del agua, precipitación, actividad auto rica?	diferentes zonas donde se encuentra ubicado el acuífero subterráneo si afecta al agua almacenada de forma subterránea ya que las diferentes actividades naturales y antrópicas alteran la composición del suelo, sin embargo, el 9.3% de ciudadanos mencionan que no altera la composición de la cobertura vegetal que rodea al acuífero subterráneo, esto por falta de información en los diferentes químicos utilizados en la agricultura y ganadería y también la falta de interés en cuidar los recursos hídricos.
13	¿Ha conocido de algún habitante de la comunidad que se ha enfermado por el consumo del agua?	En el (Anexo 13) el 70.7% de personas mencionan que no conocen de ninguna persona que haya tenido ningún problema medico por consumir el agua potable que llega a sus hogares, mientras que el 29.3% de moradores mencionan que conocen al menos un caso de personas que han tendido dificultades medicas al consumir el recurso hídrico, comentando que han presentado dolor estomacal, vómito, náuseas, dolor de cabeza y entre otros síntomas.
14	¿Según su criterio cuál cree que es el agente más contaminante en la actualidad?	En el (Anexo 14) el 65% de las personas mencionan que el hombre es el agente que más contamina los diferentes ámbitos como es aire, suelo y el recurso hídrico el cual es sujeto de análisis, también lo mencionan por las diferentes actividades antrópicas desarrolladas, el 18.6% de la población menciona que la agricultura es el agente más contaminante por los diferentes químicos que se aplican a las hortalizas que se cosechan en la localidad, sin

		<p>embargo, el 14.3% de moradores mencionan que la ganadería es la actividad que más contamina por los diferentes compuestos que secretan los animales en sus eses.</p>
15	<p>¿Estaría dispuesto a compartir parte de terreno para proteger los ojos de agua que existen en la zona?</p>	<p>En el (Anexo 15) el 87.9% de los encuestados mencionaron que si estarían dispuestos a ceder parte de su terreno para proteger los recursos hídricos, acotaron que es importante protegerlos y cuidarlos porque son recursos no renovables y si se agotan sus futuras generaciones no contarán con estas reservas que se encuentran bajo tierra, así también el 12.1% de las personas mencionaron que no estarían de acuerdo en ceder parte de sus tierras aduciendo que las mismas les han costado tiempo y dinero adquirirlas y si las ceden tendrían menos espacio para cultivar sus productos y para la agricultura que desarrollan.</p>
16	<p>¿Si una persona desperdicia el agua, cree que debería pagar un costo adicional o ser sancionado?</p>	<p>En el (Anexo 16) el 95.7% de la población menciona que está de acuerdo en sancionar a la persona que desperdicie el recurso hídrico porque están al tanto del desabastecimiento por el que pasan y no es justo que algunos moradores desperdicien el agua, sabiendo que la dotación que reciben es poca para abastecer a todas las familias, aún haber mencionado esto el 4.3% de encuestados no están de acuerdo con esta sanción, mencionando que cada persona es libre de utilizar el agua a su beneficio.</p>
17	<p>¿Conoce de alguna campaña que se haya realizado para la</p>	<p>En el (Anexo 17) el 70.7% de la comunidad menciona que no conocen de ninguna campaña que se haya desarrollado para una instrucción de cómo</p>

	conservación de los recursos hídricos?	cuidar los recursos hídricos, y el 29.3% de las personas mencionan que si han recibido estas capacitaciones, cabe mencionar que las personas que han sido capacitadas son las más jóvenes de la zona es decir jóvenes que asisten a unidades educativas como escuelas, colegios, universidades y también personas que trabajan en entidades públicas y privadas, como los diferentes municipios, empresas públicas y privadas.
18	¿Asistiría a una charla para la concientización y conservación de los recursos hídricos?	En el (Anexo 18) el 87.1% de la población estaría de acuerdo con asistir a una charla de cómo cuidar los recursos hídricos porque es importante saber cómo están formados, y como protegerlos para las futuras generaciones, también mencionan que sería interesante instruirse en diferentes temas y temas de la actualidad que se van llevando a cabo como sería el estudio que se realizó, y también el 12.9% de las personas mencionaron que no asistirían a estas capacitaciones aduciendo que son una pérdida de tiempo y con las mismas no se solucionarían ninguno de los problemas por los cuales atraviesa la zona.

Nota. Los cuadros estadísticos mencionados anteriormente los puede encontrar en el apartado de anexos.

4.6 Medidas a tomar para la conservación del agua subterránea.

Toda la zona que abarcó el estudio antes mencionado se encuentra en la parte noroeste del cantón Riobamba, por lo que presenta diferentes coberturas vegetales y por lo mismo

diferentes tipos de suelos, esto pueden ser arcillas, arenas, limos, rocas ígneas, rocas metamórficas, entre otros.

Para la mejor conservación de los acuíferos subterráneos se recomienda diferentes alternativas, una de ellas es el retiro de la agricultura y ganadería de las zonas donde se observa la presencia masiva de agua subterránea, como se observó en las diferentes tomografías eléctricas de resistividad existía diferentes zonas en las cuales la abundancia de parte del acuífero subterráneo era mayor, en dicha zona debería aplicarse esta alternativa.

El retiros de la agricultura es mencionado porque los químicos sé que utilizan para llevar a cabo esta actividad perjudican al suelo y lo contaminan, así mismo si la zona es contaminada esto e infiltrará lo que conlleva a una contaminación futura del acuífero subterráneo que existe en el área de estudio, así mismo la ganadería es un agente 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 no permite la libre infiltración de agua superficial hacia los acuíferos subterráneos, así mismo los agentes químicos que secreta el ganado en sus eses son contaminantes que en un determinado tiempo llegaran al acuífero mediante la infiltración.

Para el cumplimiento y buen desarrollo de este proyecto de investigación se recomienda la delimitación de las zonas que más presencia de masas de agua tiene la zona, es decir cercar con diferentes plantas ornamentales para impedir las diferentes actividades antrópicas que genera el ser humano, esto se puede dar con diferentes plantas como por ejemplo la jacaranda (Jacaranda Mimosifolia) o también otra opción es la buganvilia (Bougainvillea), dos especies de plantas ornamentales que no necesitan de tanto cuidado y se adaptan a cualquier tipo de clima y suelo.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las tomografías eléctricas realizadas en el área de estudio identifican los diferentes perfiles litológicos del subsuelo, esto mediante el cruce de información entre la resistividad

eléctrica de los materiales presentes en el suelo como: arcillas, arenas, rocas, cangahuas, aguas subterráneas. En este contexto, la Geología Regional y Local de la zona de estudio permitió conocer que la Langos San Andrés se encuentra sobre la avalancha del volcán Chimborazo la misma que posee estratos heterogéneos de rocas, arenas, gravas distribuidas indistintamente que permiten el flujo de agua hacia límites geológicos como son la quebrada de las Abras y el río Guano.

Por otra parte, el estudio estratigráfico mediante tomografías de electricidad permitió identificar la preferencia del movimiento del agua en la zona de Langos San Andrés, determinan zonas con resistividades entre los 20 a 150 ohm.m, la misma que se observó con mayor precisión hacia el río Guano y de igual manera zonas semipermeables en las zonas intermedias del área de estudio con resistividades entres los 150 a 250 ohm.m, y zonas de rocas o impermeables con resistividades desde los 250 a 1300 ohm.m, estas se observan en toda el área de estudio pero con mayor frecuencia en la zona intermedia. En este contexto, el acuífero se observa que tiene mayor potencial hidrogeológico en la zona vecina al río Guano.

En lo que se re refiere al potencial hidrogeológico que tiene este acuífero, como demuestra el estudio en 2D y 3D, la preferencia movimiento del agua subterránea se da hacia el río Guano desde profundidades de 30 a 50 metros, por lo que en estas zonas es posible aprovechar el recurso mediante pozos de bombeo. Además, se identificó que el agua subterránea no se recarga en esta área, ya que los estratos semipermeables o impermeables están desde la superficie y hasta a los 30 metros en las zonas descritas anteriormente, y más aún en las zonas intermedias del área que se estudió, por lo que es necesario conservar las zonas de recarga en las partes altas del volcán Chimborazo y el Igualata que son las principales fuentes de captación y almacenamiento de agua.

5.2 Recomendaciones

Para tener una mejor resolución estratigráfica en la zona de estudio del subsuelo es importante extender el cable de mayor longitud y electrodos en el equipo, de esta manera se obtuviera una mejor resolución de las tomografías en profundidad.

En lo que se refiere a la explotación racional del agua subterránea se debe cumplir con lo que determina la norma nacional para protección de área de restricción hídrica por lo que si se realiza perforaciones estas deberían tener al menos 500 metros de distancia respecto al eje hidráulico del río Guano y entre pozos proyectados para este fin.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, I., & Anzoátegui, M. (2018). *CRISIS AMBIENTAL Y SOCIEDAD DE RIESGO. ALGUNOS LINEAMIENTOS PARA PENSAR LA VULNERABILIDAD SOCIO AMBIENTAL*. 21.
- Antúnez, A. A., & Guanoquiza, L. L. G. (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable*, 19, Art. 19. <https://doi.org/10.24142/rvc.n19a4>
- Arnoux, C. (2015). *Guía de la medición de tierra*. Iberica, S.A. https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_tierra_ed2.pdf
- BANCO MUNDIAL. (2021). *Agua: Panorama general*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1%C3%A7>
- Bejarano, D., & Martinez, F. (2021). *PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA URBANIZACIÓN, UBICADA EN LA COMUNIDAD LANGOS 11 DE NOVIEMBRE, DEL CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO (ECUADOR)*.
- Betancur, T. (2021). *Potencial y perspectivas de exploración hidrogeológica en Antioquia según criterios litoestructurales. | Sociedad Colombiana de Geología*. <https://sociedadcolombianadegeologia.org/potencial-y-perspectivas-de-exploracion-hidrogeologica-en-antioquia-segun-criterios-litoestructurales/>
- Bordehore, L. J. (2020). *Geofísica somera aplicada a informes geotécnicos de pequeña escala: Detección de cavidades por tomografía eléctrica*.
- Briceño, J. (2015). *MANUAL PARA LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4334.6241>
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *INTRODUCCION A LA HIDROLOGIA DEL ECUADOR*. https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA_2%20EDICION_2014.pdf
- Cairapoma, A., & Villegas, P. (2018). Los acuíferos y las aguas subterráneas en el Derecho internacional público. *Revista de Derecho Administrativo Económico*, 27, Art. 27. <https://doi.org/10.7764/redae.27.3>

- Caraballo, M. P. C., & Xavier, J. M. (2012). *Manual de Agua Subterránea*.
- Charles, A. C., K.y, G. S., & Samuel, A. K. (2018). Experimental Study of Electrical Resistivity to Rock Fracture Intensity and Aperture Size. *International Journal of Physics*, 6(3), Art. 3. <https://doi.org/10.12691/ijp-6-3-4>
- Cristhian, C., & Viteri, R. (2018). *Diseño de una planta de tratamiento para la depuración de aguas residuales en la parroquia El Rosario, cantón Guano, provincia de Chimborazo*. <https://1library.co/document/yd7emk1y-diseno-tratamiento-depuracion-residuales-parroquia-rosario-provincia-chimborazo.html>
- Delgado, S. (2016). *Estratos Arquitectónicos. Conceptos, lógicas, sinopsis*. https://oa.upm.es/40502/1/SONIA_DELGADO_BERROCAL_01.pdf
- Geoelec. (2017). *Software RES2DINV - Geoelec*. <https://www.geoelec.com.mx/software-RES2DINV.html>
- Geotecnia. (2018, octubre 15). ¿Qué es un estrato? Significado, definición y errores relacionados. *geotecniafacil.com*. <https://geotecniafacil.com/que-es-un-estrato/>
- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO. (2019). *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>
- Goehring, D. (2018). *Factores que influyen en la resistividad. | IEI05.- Montaje de las puestas a tierra*. https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/website_411_factores_que_influyen_en_la_resistividad.html
- Hernández, O., & Esquivel, J. (2015). *ESTUDIO DE MICROGRAVIMETRIA Y RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL TEMPLO DE LA PARROQUIA MADRE DEL REDENTOR DE SUBA, BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA*.
- Lopez, A., & Loke, M. (2010). *TÉCNICAS PRÁCTICAS PARA INVESTIGACION DE RESISTIVIDAD EN DOS Y TRES DIMENSIONES (TOMOGRAFÍA ELECTRICA 2D y 3D)*.

- Málaga, D. T. C. (2009). *ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, LA JOYA- AREQUIPA, 2015 (PARAJE-RAMAL)*. 99.
- Mayorga, M. S. (2020). *Modelamiento geofísico tridimensional del sistema de bombeo de Llio, EP EMAPAR* [BachelorThesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7011>
- Moreira, C., Araya, F., & Rodríguez, C. (2015). *Educación ambiental para la conservación del recurso hídrico a partir del análisis estadístico de sus variables | Revista Tecnología en Marcha*. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2413
- Muñoz, M. C. (2021). *Tomografía eléctrica: Fundamentos y aplicaciones* [Report]. Universidad de Extremadura, Grupo de Investigación Kraken. <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/11842>
- ONU. (2017, noviembre 14). *El daño ambiental aumenta en todo el planeta, pero aún hay tiempo para revertir el peor impacto si los gobiernos actúan ahora: PNUMA*. UN Environment. <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/noticias/el-dano-ambiental-aumenta-en-todo-el-planeta-pero-aun-hay-tiempo>
- OPS, & OMS. (2020). *Cambio Climático y Salud—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>
- Ordoñez, J. J. (2011). *Aguas Subterráneas—Acuíferos*. *Sociedad Geográfica de Lima*.
- Perdomo, S., Capítulo, L. R., & Kruse, E. (2013). *Aplicación de tomografías eléctricas en la configuración del acuífero costero en un sector oriental de la Provincia de Buenos Aires*. 6.
- Proaño, J., & Mendoza, . Benito. (2018). *RECONSTRUCCIÓN ESTRATIGRÁFICA MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD DE UN HUMEDAL ALTOANDINO EN EL CANTÓN CHAMBO*.
- Rivera, S. (2016). *TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA ECOLÓGICA*. 140.
- Rubio, F. M., Ramiro, A., & Ibarra, P. (2017). *Métodos geofísicos en entornos naturales protegidos. Tomografía eléctrica*. *BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO*, 128(1), 171-192. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.128.1.010>

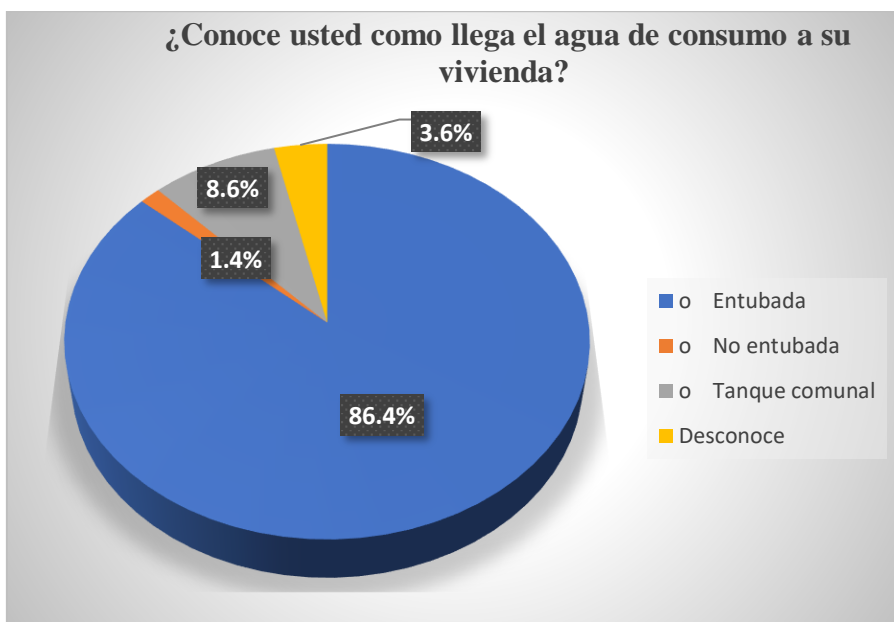
- Sánchez, J. A., González, R. A., Carrillo, L., Álvarez, T., & Pacheco, J. G. (2016). Calidad del agua subterránea: Acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(4), 75-95.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Introducción Estratigrafía*. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Estratigrafia/Introduccion-estratigrafia.html>
- Software, C. (2019). Voxler, imágenes 3D de datos sísmicos, pozos de perforación, datos CPT. *Geosoluciones*. <https://www.geosoluciones.cl/voxler/>
- Solana, M. (2014). *ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS*. 132.
- Tenelema, V. H., & Mendoza, B. (2017). “*ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO DEL ACUÍFERO DEL RÍO CHAMBO MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS Y TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS*”.
- Torrego, E. H., & Martínez-Frías, J. (2001). *Hidrored—Estado de los Recursos Hídricos en Ecuador—Bases de Datos*. <http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>
- UNESCO. (2020). *Informe del 2020—Agua y cambio climático*. <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>
- UNICEF, & INEC. (2018). *Agua, saneamiento e higiene*. <https://www.unicef.org/ecuador/informes/agua-saneamiento-e-higiene>

ANEXOS

Gráficos estadísticos de las encuestas aplicadas

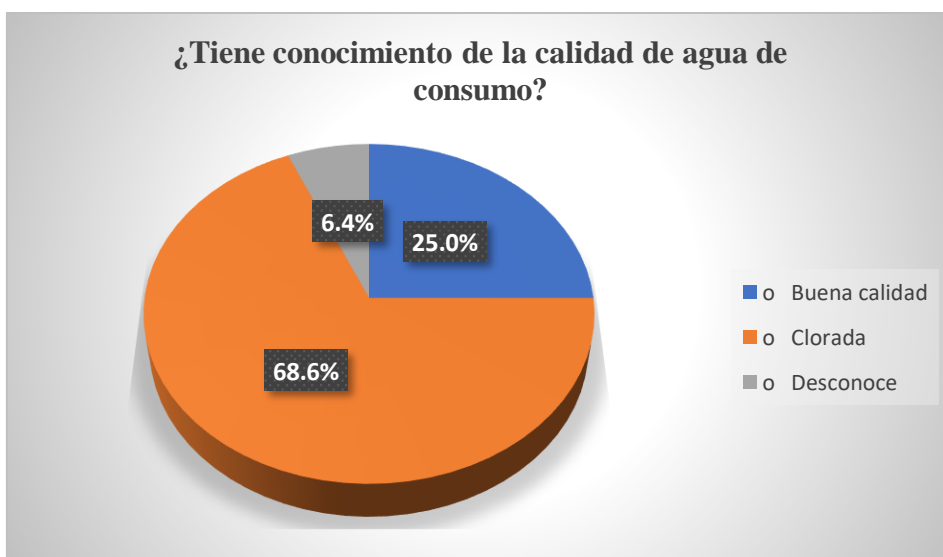
Anexo 1

Primera pregunta



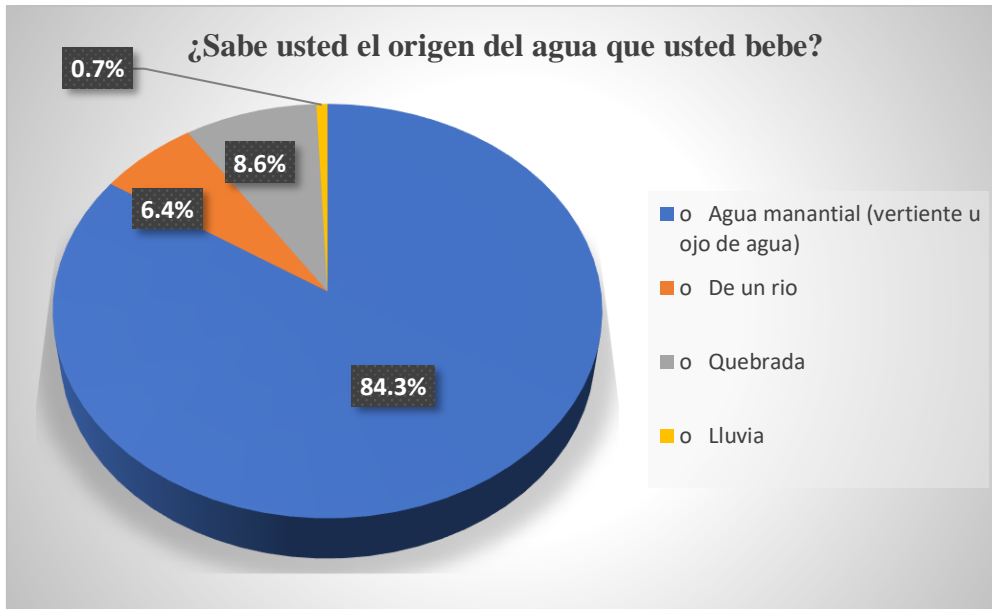
Anexo 2

Segunda pregunta



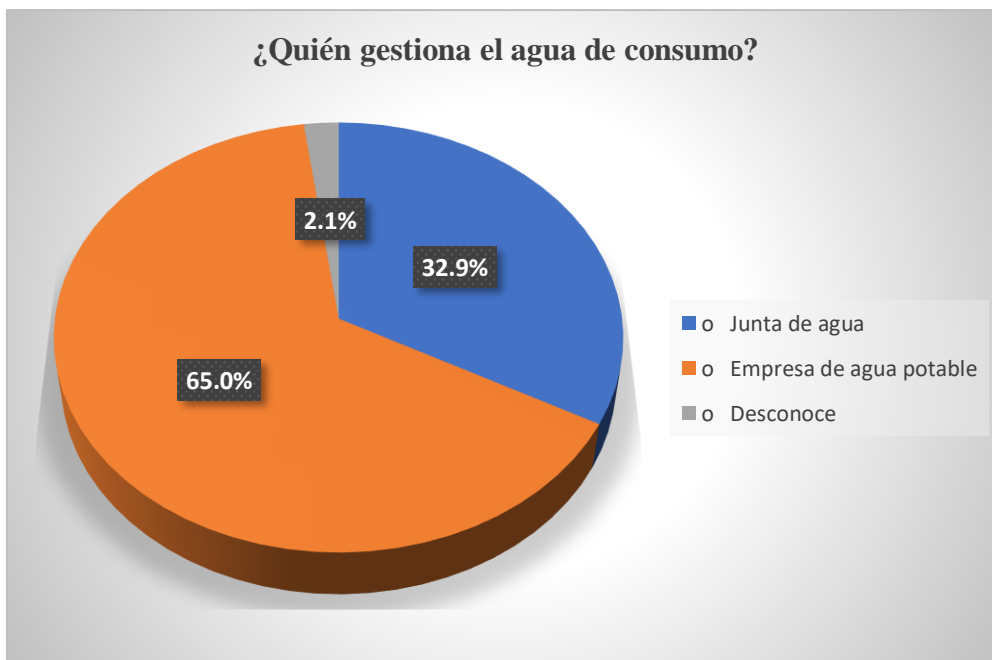
Anexo 3

Tercera pregunta



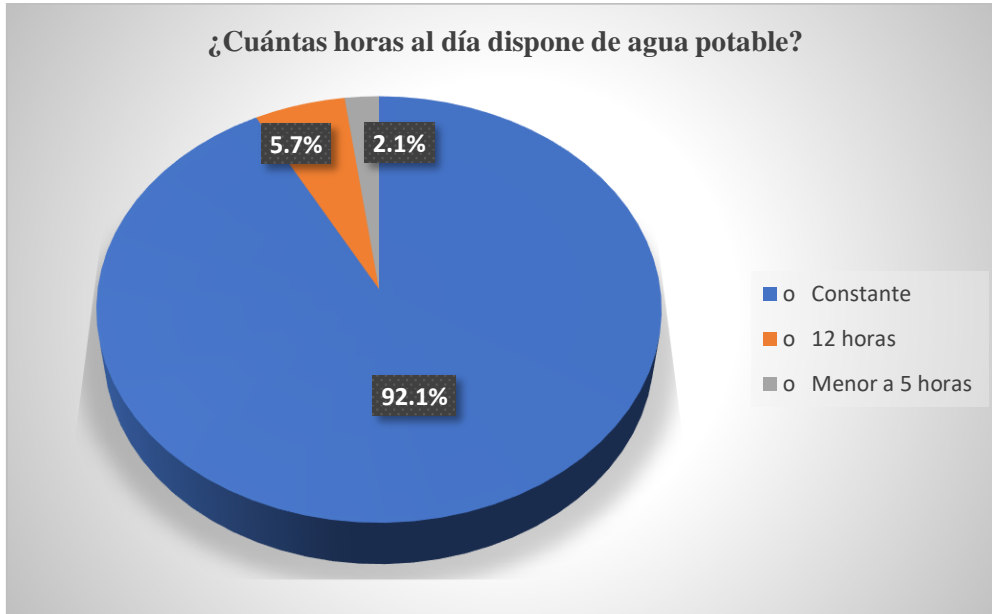
Anexo 4

Cuarta pregunta



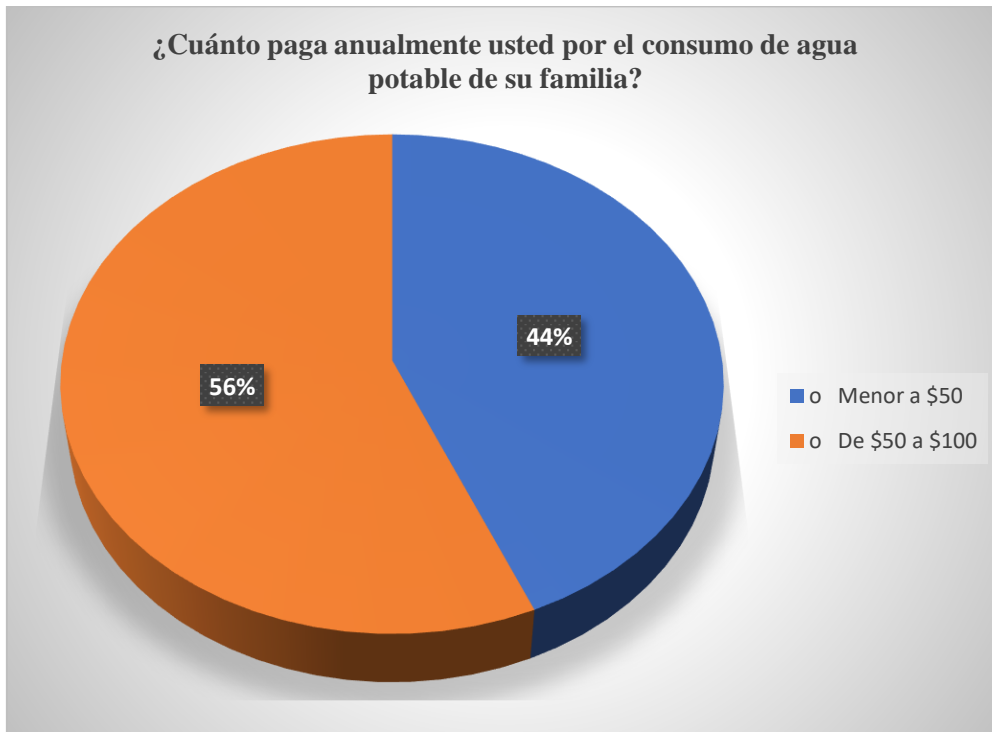
Anexo 5

Quinta pregunta



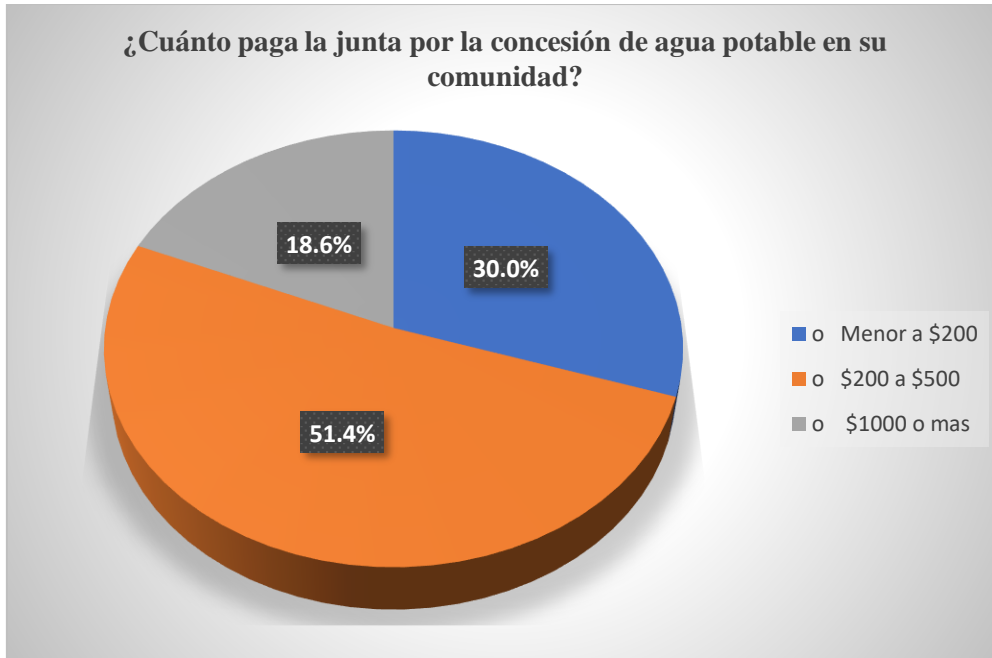
Anexo 6

Sexta pregunta



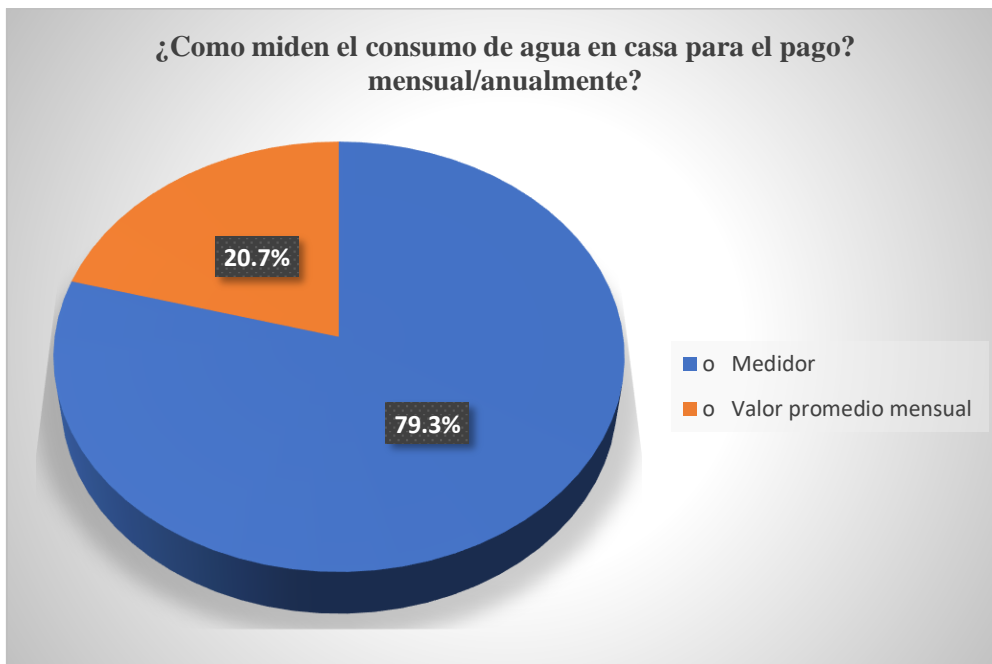
Anexo 7

Séptima pregunta



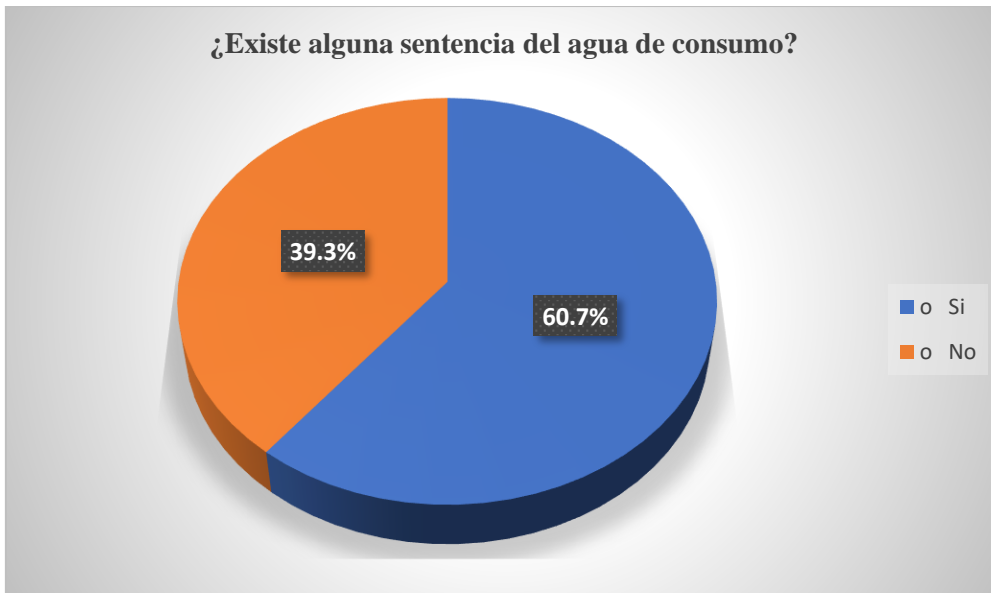
Anexo 8

Octava pregunta



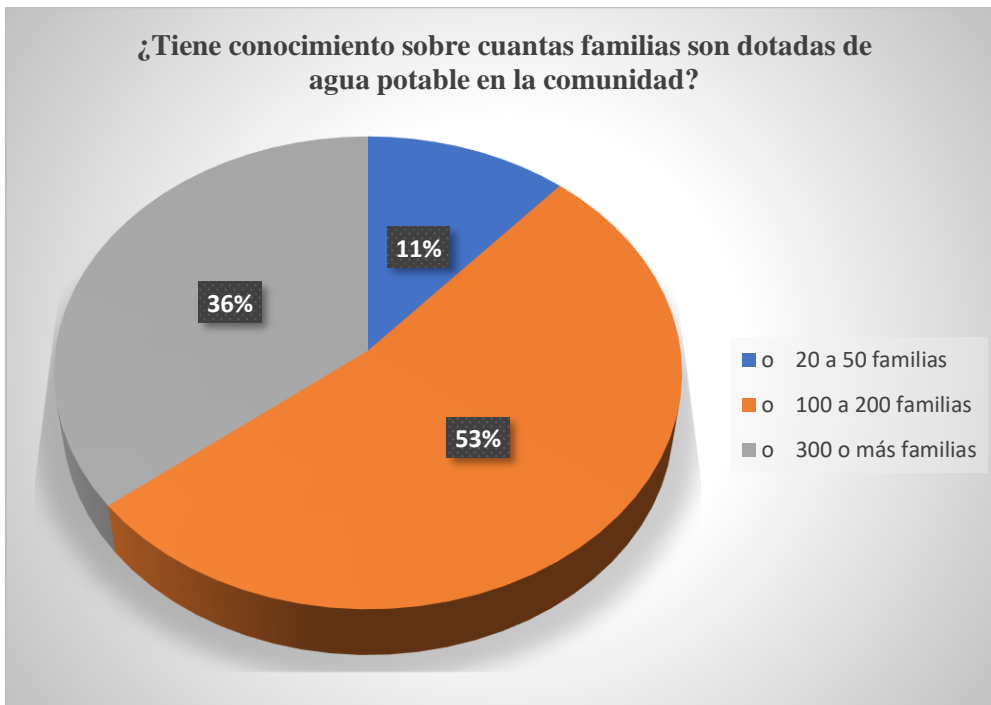
Anexo 9

Novena pregunta



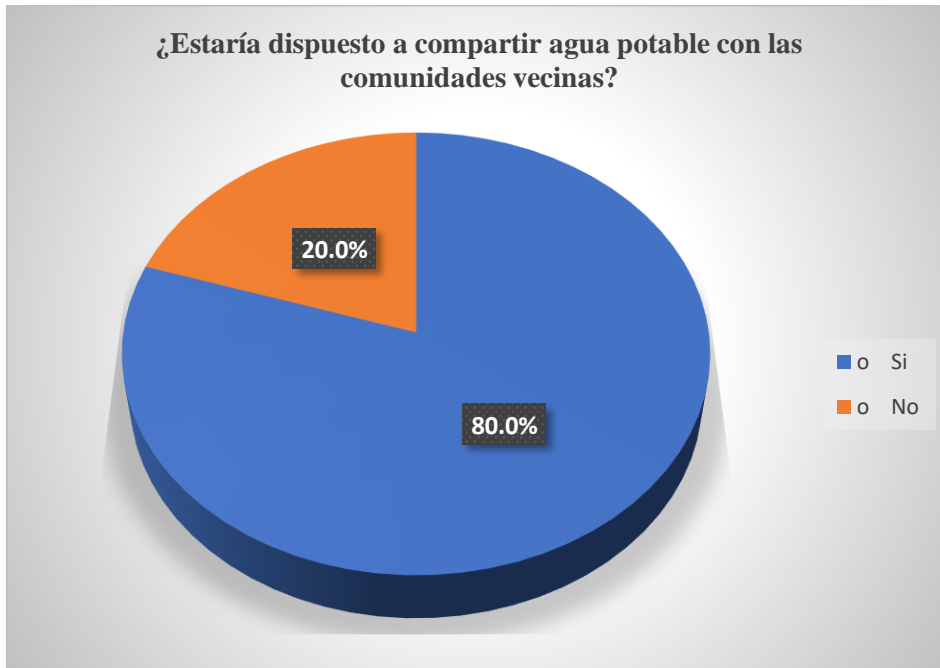
Anexo 10

Décima pregunta



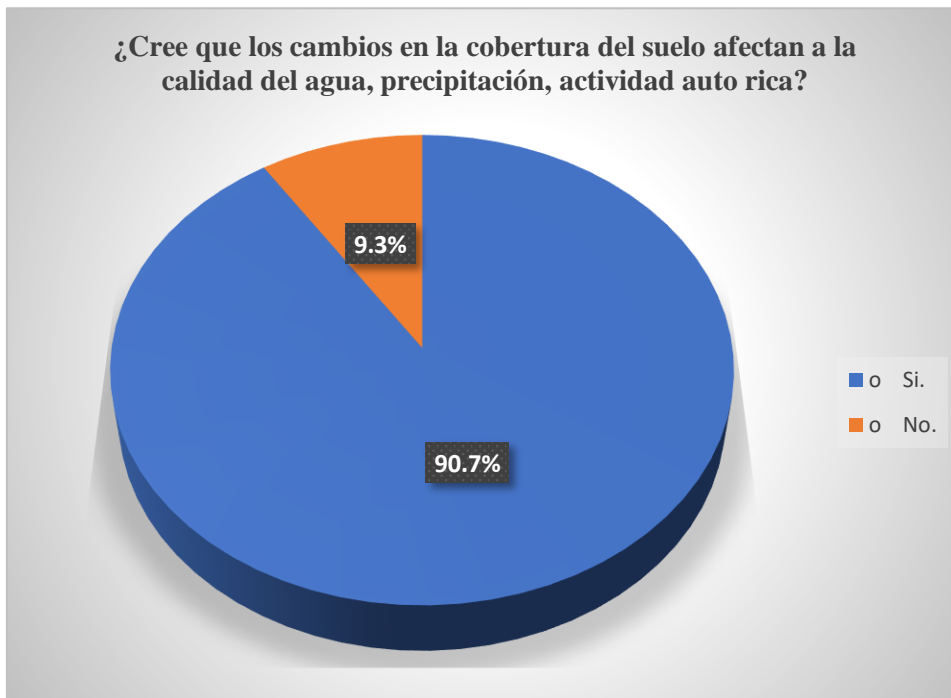
Anexo 11

Décimo primera pregunta



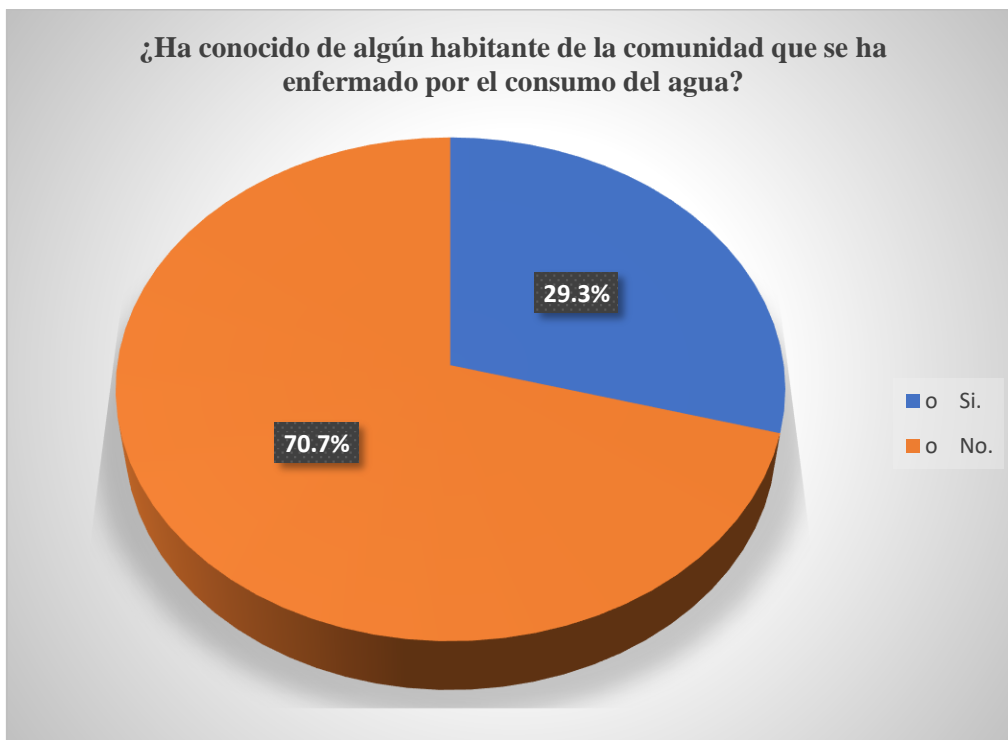
Anexo 12

Décimo segunda pregunta



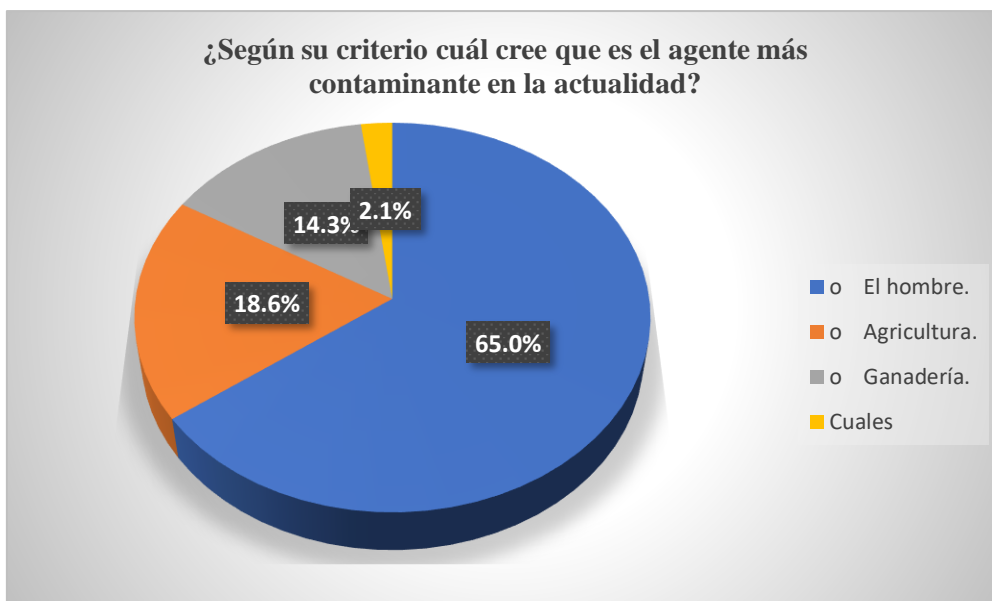
Anexo 13

Décimo tercera pregunta



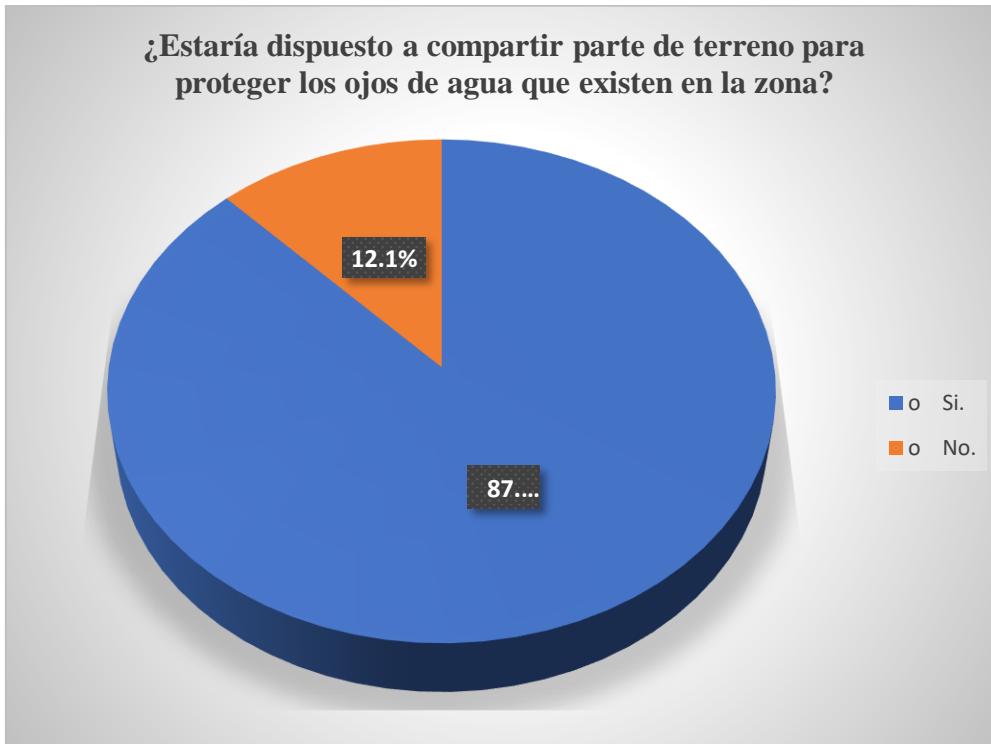
Anexo 14

Décimo cuarta pregunta



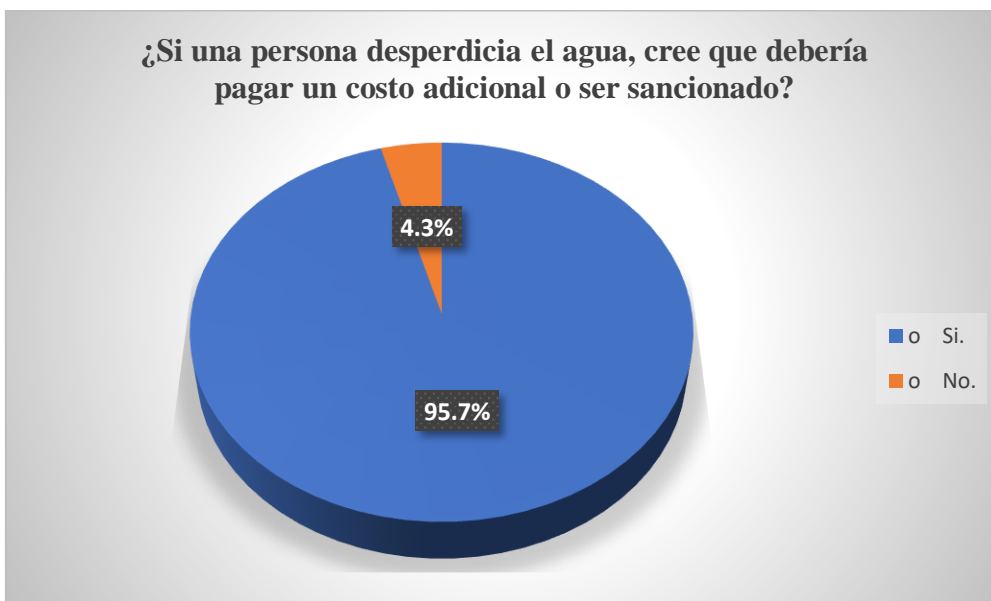
Anexo 15

Décimo Quinta pregunta



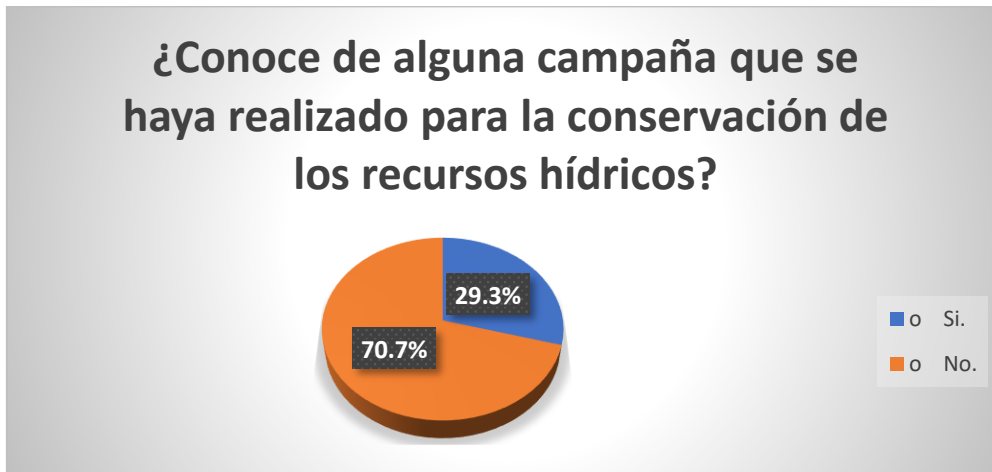
Anexo 16

Décimo sexta pregunta



Anexo 17

Décimo séptima pregunta



Anexo 18

Décimo octava pregunta

