



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

Estudio Hidrogeológico del Campus Norte de la UNACH mediante tomografías eléctricas de resistividad y pruebas de bombeo.

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**Autora:**

Heredia Morquecho, Nicole Stefany

**Tutor:**

Benito Guillermo Mendoza Trujillo, PhD.

**Riobamba, Ecuador. 2025**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Nicole Stefany Heredia Morquecho**, con cédula de ciudadanía **0941384836**, autor (a) del trabajo de investigación titulado: **Estudio Hidrogeológico del campus Norte de la Unach mediante tomografías eléctricas de resistividad y pruebas de bombeo**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi 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 totalo 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 derechosde autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la UniversidadNacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 17 de enero del 2025.



---

Nicole Stefany Heredia Morquecho

C.I: 0941384836



## ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 11 días del mes de diciembre de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **Heredia Morquecho Nicole Stefany** con CC: **0941384836** de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado **“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL CAMPUS NORTE DE LA UNACH MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD Y PRUEBAS DE BOMBEO”**, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



Benito Guillermo  
Mendoza Trujillo

---

Ph.D. Benito Mendoza  
**TUTOR(A)**

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: Estudio Hidrogeológico del campus Norte de la Unach mediante tomografías eléctricas de resistividad y pruebas de bombeo, presentado por Nicole Stefany Heredia Morquecho, con cédula de identidad número 0941384836, bajo la tutoría de PhD. Benito Mendoza; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 17 días del mes de enero del 2025

Mgs. Marcel Paredes

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Mgs. María Fernanda Rivera

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Mgs. Patricio Santillán

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





# CERTIFICACIÓN

Que, **Heredia Morquecho Nicole Stefany** con CC: **0941384836**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad De Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **Estudio Hidrogeológico del Campus Norte de la UNACH mediante Tomografías eléctricas de resistividad y Pruebas de bombeo**", cumple con el **6** %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 09 de diciembre de 2024



Benito Guillermo  
Mendoza Trujillo

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo.  
**TUTOR (A)**

## **DEDICATORIA**

Con profunda gratitud y amor infinito, dedico este trabajo a Dios, fuente de sabiduría y guía en mi camino académico. A mi amada hermana Sandra Heredia y a mi querida madre Narcisa Morquecho, pilares inquebrantables en mi vida, que por su sacrificio y su apoyo constante he podido alcanzar este logro. A mi padre Segundo Heredia, que con su amor incondicional ha sido mi mayor inspiración. A mi tía María Elena quien partió de este mundo siempre te llevaré en mi corazón. Este trabajo no solo es mío, sino de toda mi familia, quienes han compartido cada alegría y desafío de este viaje conmigo. Gracias por ser mi razón de ser y por iluminar mi sendero con amor y apoyo constante.

**Nicole Stefany Heredia Morquecho**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios quien ha sido mi guía y fortaleza en este camino.

Agradezco a mi hermana Sandra Heredia, sin su ayuda esto no hubiera sido posible, especial reconocimiento a mi tutor, Benito Mendoza y el Ing. Carlos Maldonado, quienes generosamente brindaron su invaluable ayuda en la elaboración de esta tesis. Admiro profundamente su contribución y acepto con gratitud su guía en este proceso de investigación.

A mi compañero de vida, por tu apoyo y por estar siempre a mi lado en este desafío. Este logro es un testimonio de la perseverancia y el esfuerzo constante, y sé que cada paso dado ha sido respaldado por el amor y apoyo de aquellos que más valoro en mi vida.

**Nicole Stefany Heredia Morquecho**

## **SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS**

RA	Resistividad Aparente
ohm.m	Ohmios multiplicado por metros



## INDICE

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Justificación .....	18
CAPITULO II. OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivo General:.....	19
2.2. Objetivo Específico:.....	19
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO .....	20
3.1. ¿Qué son las aguas subterráneas?.....	20
3.2. Acuíferos .....	20
3.3. Clasificación de los acuíferos .....	21
3.3.1. Acuífero libre.....	21
3.3.2. Acuífero confinado.....	22
3.3.3. El acuífero semi confinado .....	22
3.4. Tipos de captación.....	23
3.4.1. Pozos .....	23
3.4.2. Manantiales.....	23
3.5. Impactos de gestión deficientes de acuíferos.....	24
3.5.1. Sobreexplotación .....	24

3.5.2.	Hundimiento del terreno .....	24
3.5.3.	Contaminación del agua subterránea .....	24
3.5.4.	Impacto en los ecosistemas acuáticos .....	25
3.5.5.	Escasez de agua .....	25
3.6.	Estratigrafía .....	25
3.7.	Estrato .....	25
3.8.	Tomografías eléctricas de resistividad del subsuelo .....	26
3.9.	Factores que influyen en la resistividad .....	27
3.9.1.	Naturaleza del terreno .....	27
3.9.2.	Humedad .....	28
3.9.3.	Salinidad .....	28
3.9.4.	Temperatura .....	28
3.9.5.	Estratigrafía del terreno .....	28
3.9.6.	Variaciones estacionales .....	29
3.9.7.	Compactación del terreno .....	29
3.10.	Equipo requerido .....	29
3.11.	Pruebas de bombeo .....	30
3.12.	Conductividad Hidráulica .....	31
3.13.	Método para determinar la conductividad hidráulica .....	31
3.13.1.	Método prueba en campo .....	31
3.13.2.	Método ensayos en laboratorio .....	31
3.14.	Modelo Hidrogeológico .....	32
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA .....		33
4.1.	Área de estudio .....	33
4.2.	Tipo de Investigación .....	33
4.3.	Diseño de Investigación .....	34
4.4.	Configuración del equipo en campo y adquisición de datos .....	34
4.5.	Líneas de lectura .....	34
4.6.	Funcionamiento de la tomografía eléctrica .....	35

4.7. Técnica para efectuar una tomografía eléctrica .....	36
4.8. Interpretación de la inversión de la resistividad eléctrica aparente .....	38
4.9. Técnica para analizar la conductividad hidráulica mediante las Pruebas de Bombeo. ....	40
4.10. Determinación de la Conductividad Hidráulica Mediante Pruebas de Bombeo .....	40
<b>CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>42</b>
5.1. Reconstrucción estratigráfica en 2D y 3D del campus Norte de la Unach. ....	42
5.1.1. Primera línea.....	42
5.1.2. Segunda línea.....	43
5.1.3. Tercera línea .....	44
5.1.4. Cuarta Línea.....	45
5.1.5. Quinta Línea .....	46
5.1.6. Sexta Línea .....	47
5.1.7. Reconstrucción y análisis del modelo estratigráfico 3D de la zona de estudio.....	48
5.2. Análisis del nivel piezométrico en las cercanías de la UNACH.....	50
5.3. Análisis de la Conductividad Hidráulica en el área de la UNACH.....	53
5.4. Profundidades de cimentación de los edificios del Campus Norte de la UNACH.....	57
5.5. Modelo hidrogeológico para determinar el comportamiento del agua subterránea en el Campus Norte de la UNACH.....	58
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
6.1. Conclusiones.....	61
6.2. Recomendaciones .....	62
7. BIBLIOGRAFÍA.....	63
8. ANEXOS .....	65

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Valores de las resistividades en diferentes materiales. ....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 2. Ubicación de los pozos perforados por EMAPAR y por el CPCH. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3. Resultado de conductividad hidráulica obtenidos de las pruebas de bombeo, al momento de mantenimiento del pozo, realizado por el CPCH y EMAPAR. ....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 4. Estratigrafía obtenida del pozo de agua subterránea UNACH y Maldonado. ....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 5. Coordenadas Primera Línea. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 6. Coordenadas Segunda Línea. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 7. Coordenadas Tercera Línea. ....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 8. Coordenadas Cuarta Línea. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 9. Coordenadas Quinta Línea. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 10. Coordenadas Sexta Línea. ....</i>	<i>75</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Características del acuífero libre.....	21
<b>Figura 2.</b> Características de acuíferos confinados.....	22
<b>Figura 3.</b> Características de acuíferos semiconfinados.....	23
<b>Figura 4.</b> División de sedimentos en capas estratigráficas.....	26
<b>Figura 5.</b> Esquema de la inversión de las resistividades en 2D.....	27
<b>Figura 6.</b> Equipo requerido para tomografías.....	30
<b>Figura 7.</b> Mapa de Ubicación del Campus Norte de la UNACH.....	33
<b>Figura 8.</b> Configuración Dipolo-Dipolo.....	35
<b>Figura 9.</b> Configuración Dipolo-Dipolo.....	36
<b>Figura 10.</b> Secuencia de medidas para la tomografía eléctrica 2D.....	37
<b>Figura 11.</b> Mapa de ubicación de los pozos de extracción de agua subterránea del pozo San Gabriel, Maldonado y la Unach.....	40
<b>Figura 12.</b> Estratigrafía 2D Primera Línea.....	43
<b>Figura 13.</b> Estratigrafía 2D Segunda Línea.....	44
<b>Figura 14.</b> Estratigrafía 2D Tercera Línea.....	45
<b>Figura 15.</b> Estratigrafía 2D Cuarta Línea.....	46
<b>Figura 16.</b> Estratigrafía 2D Quinta Línea.....	47
<b>Figura 17.</b> Estratigrafía 2D Sexta Línea.....	48
<b>Figura 18.</b> Reconstrucción del modelo estratigráfico de la Unach en 3D.....	49
<b>Figura 19.</b> Modelo estratigráfico en 3D.....	49
<b>Figura 20.</b> Mapa Piezométrico del área de influencia de la UNACH.....	53
<b>Figura 21.</b> Mapa descriptivo de las profundidades de cimentación de la UNACH.....	58
<b>Figura 22.</b> Modelo matemático para determinar el comportamiento de agua subterránea.....	59
<b>Figura 23.</b> Modelo matemático para determinar el comportamiento de agua subterránea en el campus Norte de la UNACH.....	60

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar las características hidrogeológicas del campus Norte de la UNACH, determinando el posible impacto del nivel freático en problemas como movimientos de tierra que afectan la infraestructura del campus. La investigación se realizó empleando tomografías eléctricas de resistividad sobre la superficie del campus, evaluando de esta manera la estratigrafía del terreno hasta 60 metros de profundidad, este enfoque permitió comprender la composición del subsuelo, incluyendo capas de roca, suelo, sedimentos, otros materiales y sobre todo la presencia de masa de agua. Además, se realizó el levantamiento topográfico mediante un dron con una precisión de 1cm, el que permite identificar de mejor manera tanto los estratos superficiales como la altura del nivel piezométrico del agua del pozo que se encuentra dentro del predio institucional. Para complementar este trabajo se realizó la interpretación de los datos de niveles piezométricos obteniendo un mapa piezométrico de agua subterránea. Estos datos permitieron configurar el modelo conceptual del acuífero presente en el área del campus universitario, en el que se demostró que el agua subterránea del acuífero está a una profundidad que oscila entre los 2725 a 2714 metros sobre el nivel del mar en el pozo de la UNACH, es decir a una profundidad de 58 metros, respecto a la cimentación de las edificaciones, por lo que se demuestra que el nivel piezométrico que presenta el acuífero en el campus Norte de la UNACH no tiene contacto directo con las bases de las edificaciones.

**Palabras claves:** Tomografías, acuífero, conductividad hidráulica, modelo matemático.

## ABSTRACT

This research aims to analyze the hydrogeological characteristics of the North campus of UNACH, determining the possible impact of the water table on problems such as earth movements that affect the campus infrastructure. The research was carried out using electrical resistivity tomography on the surface of the campus, thus evaluating the stratigraphy of the terrain up to 60 meters deep; this approach allowed an understanding of the composition of the subsoil, including layers of rock, soil, sediments, other materials and especially the presence of water mass. In addition, a topographic survey was carried out using a drone with an accuracy of 1 cm, which allows better identification of both the surface strata and the height of the piezometric water level of the well located within the institutional property. The piezometric level data was interpreted to complement this work, obtaining a piezometric map of groundwater. These data allowed configuring the conceptual model of the aquifer present in the area of the university campus, in which it was shown that the groundwater of the aquifer is at a depth that ranges from 2725 to 2714 meters above sea level in the UNACH well, that is, at a depth of 58 meters, concerning the foundation of the buildings, thus demonstrating that the piezometric level of the aquifer in the North campus of the UNACH does not have direct contact with the foundations of the buildings.

Keywords: Tomography, aquifer, hydraulic conductivity, mathematical model.



Reviewed by:

Ms.C. Ana Maldonado León

ENGLISH PROFESSOR

C.I.0601975980

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial se conoce que los estudios hidrogeológicos se realizan para comprender el ciclo del agua subterránea, que se encuentra en acuíferos debajo de grietas, cavidades del suelo, arena, roca, sedimentos permeables que contengan agua (Hernán & Prunes, 2022).

Ecuador es un país rico en recursos hídricos los cuales, sin su correcto manejo y cuidado, limitan su beneficio en diversas zonas, por tal motivo, se genera vulnerabilidad en diferentes áreas relacionada a los recursos hídricos, debido a que no se conoce la litología, estratigrafía, y topografía (Burbano et al., 2015).

Actualmente los estudios de suelo son fundamentales para que una construcción perdure, hay que destacar que un estudio de suelo permite conocer las características físicas, geológicas, diferentes capas, su espesor, la profundidad del nivel del agua, hasta la capacidad de resistencia que tiene un suelo o roca, también permite conocer el tipo de cimentación más adecuado a construir, así como los establecimientos de la estructura en relación al peso que va a soportar y no se vea vulnerable ante sismos o inundaciones (Cárdenas, 2019).

Mediante la evaluación del nivel freático podemos obtener un resultado más específico para una correcta construcción y altura de la edificación sobre el nivel del terreno elegido y así no existan afectaciones. En este contexto, el departamento de Infraestructura de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) realizó un análisis de las estructuras del campus norte, en el cual se obtuvieron algunos criterios en los que posiblemente el nivel freático del acuífero que está debajo de este campus afecta a las construcciones, por lo que es necesario determinar el nivel de incidencia del agua subterránea en los cimientos.



Por tanto, este trabajo pretende determinar la estratigrafía y el nivel freático del agua que se encuentra dentro del campus norte. Esto se logrará mediante el uso de técnicas de tomografía eléctrica para medir la resistividad, mediciones de niveles de agua en los pozos y el análisis hidrogeológico a través de modelos matemáticos. De esta manera, se determinará si el acuífero tiene algún impacto en las estructuras del campus norte de la UNACH.

### **1.1. Planteamiento del problema**

La presente investigación se realizará en el campus norte de la UNACH en el periodo 2023, enfocándose en el estudio hidrogeológico del campus, con el objetivo de investigar si el nivel freático es una de las posibles causas del hundimiento y movimiento de tierra en el área, lo que podría ocasionar daños en la infraestructura del campus. El trabajo fue solicitado por el Departamento de Infraestructura de la institución el cual en el informe de consultoría que se realizó en el campus norte sobre la cimentación de los edificios solicitaba que se realice el estudio hidrogeológico para descartar que el agua subterránea presente debajo del campus es la que ocasiona que algunas edificaciones presenten daños en sus estructuras.

## **1.2. Justificación**

La falta de comprensión de la estructura hidrogeológica y las propiedades del subsuelo tiene un impacto negativo en la forma en que se aprovecha el subsuelo y se gestionan los recursos hídricos subterráneos. Esto se traduce en un uso ineficiente del agua subterránea y una gestión inapropiada de este recurso vital (Losinno et al., 2018)

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo principal analizar la estructura hidrogeológica del campus norte de la UNACH, mediante la aplicación de tomografías eléctricas de resistividad, pruebas de bombeo y modelación matemática. Estas técnicas han sido seleccionadas debido a su relevancia en el estudio geotécnico del subsuelo, permitiendo obtener información precisa sobre las propiedades y características estratigráficas del mismo. El conocimiento adquirido mediante este estudio es fundamental para comprender de manera integral la distribución y la dinámica del agua subterránea en el campus norte de la UNACH. Por tanto, la importancia de esta investigación radica en su potencial para contribuir al desarrollo de estrategias efectivas que tomará en cuenta la UNACH para la protección y conservación de su infraestructura.

## **CAPITULO II. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo General:**

- Estudiar las características hidrogeológicas del campus Norte de la Unach mediante Tomografías eléctricas de resistividad y pruebas de bombeo.

### **2.2.Objetivo Específico:**

- Analizar la conductividad hidráulica y la estratigrafía del Campus Norte de la UNACH mediante pruebas de bombeo y tomografías eléctricas de resistividad.
- Elaborar un modelo hidrogeológico para determinar el comportamiento del agua subterránea en el campus norte de la UNACH.

## **CAPITULO III. MARCO TEÓRICO**

### **3.1.¿Qué son las aguas subterráneas?**

Las aguas subterráneas constituyen una parte esencial del ciclo hidrológico de la tierra, donde el agua se filtra a través del suelo y se almacena en acuíferos subterráneos, los cuales están compuestos por una variedad de rocas porosas como areniscas, gravas y calizas. La cantidad y calidad de estas aguas pueden variar según factores como la geología local, la recarga proveniente de la lluvia y la actividad humana, incluyendo la extracción para usos agrícolas, industriales o domésticos. Además de proporcionar agua potable para millones de personas, las aguas subterráneas son fundamentales para el riego de cultivos y el mantenimiento de ecosistemas acuáticos. No obstante, el uso inadecuado y la contaminación representan preocupaciones significativas. La sobreexplotación de los acuíferos puede ocasionar la disminución del nivel freático, la intrusión de agua salina en áreas costeras y la subsidencia del terreno. La contaminación por vertidos de productos químicos, residuos industriales y fertilizantes agrícolas puede comprometer la calidad del agua subterránea, afectando tanto la salud humana como el medio ambiente. Por consiguiente, una gestión efectiva y sostenible de las aguas subterráneas es crucial para asegurar su disponibilidad a largo plazo y preservar su calidad (Cerón et al., 2021).

### **3.2.Acuíferos**

Un acuífero es una formación geológica subterránea constituida por rocas o sedimentos permeables que pueden almacenar y transmitir agua subterránea. Se compone de una zona saturada, donde los poros o fracturas están completamente llenos de agua, y una zona no saturada, conocida también como zona de aireación, donde los poros contienen aire y solo una cantidad de agua en forma de humedad (Morales, 2017).

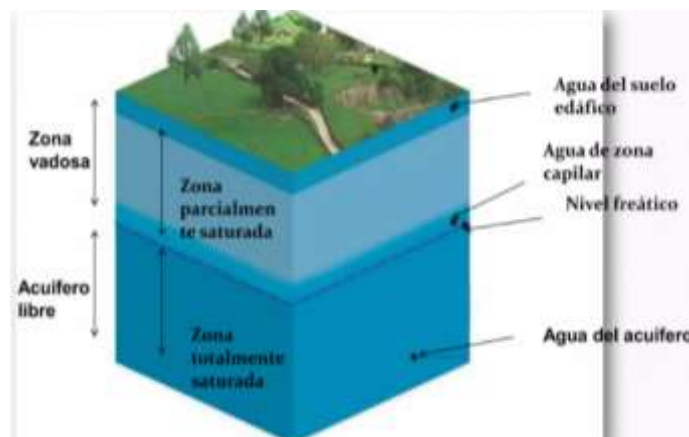
### 3.3. Clasificación de los acuíferos

Los acuíferos se pueden clasificar en varias categorías según sus características hidrogeológicas. A continuación, se presenta una clasificación comúnmente utilizada (Valle & Zaragoza, 2019):

#### 3.3.1. Acuífero libre

El acuífero libre es un tipo de reservorio subterráneo caracterizado por la presencia de una zona saturada en la cual el agua se encuentra justo debajo de la superficie del suelo, con una presión igual a la atmosférica. Una característica distintiva de estos acuíferos es la presencia de un nivel freático claramente definido, que representa la superficie superior del agua subterránea en contacto directo con la atmósfera. En un acuífero libre, el agua se desplaza naturalmente bajo la influencia de la gravedad, lo que permite su acceso a través de pozos perforados o surgencias naturales como manantiales. La recarga de agua en un acuífero libre se realiza principalmente mediante la infiltración directa de la lluvia y la contribución de arroyos y ríos cercanos. Sin embargo, debido a su proximidad a la superficie y a la actividad humana, estos acuíferos son más susceptibles a la contaminación.

**Figura 1.** Características del acuífero libre

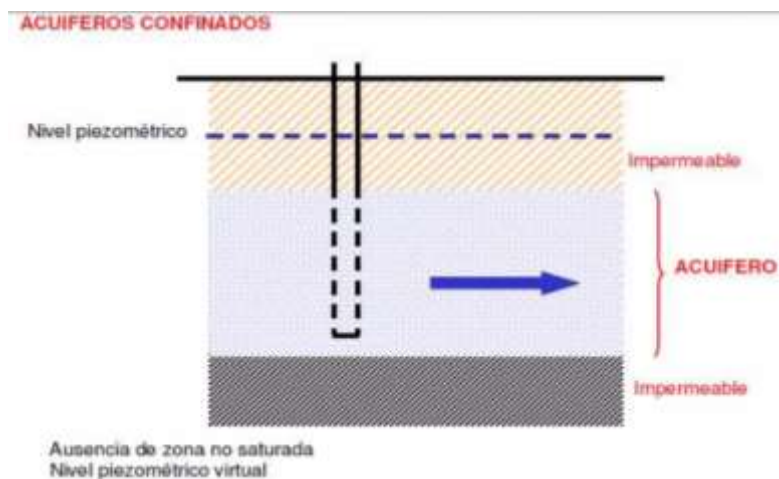


Nota. Fuente: (Valle & Zaragoza, 2019).

### 3.3.2. Acuífero confinado

El acuífero confinado, también conocido como acuífero artesiano, es un tipo específico de reservorio subterráneo situado entre dos capas de roca impermeable, como arcilla o esquisto, que limitan el flujo de agua dentro del acuífero. Esta disposición crea condiciones de confinamiento donde la presión del agua dentro del acuífero es mayor que la presión atmosférica. Como resultado, al perforar un pozo en el acuífero confinado, el agua puede ascender por encima del nivel freático. El agua en un acuífero confinado está generalmente sometida a alta presión y puede fluir rápidamente a través de pozos artesianos. Estos acuíferos suelen almacenar grandes volúmenes de agua y pueden ser una fuente importante de suministro de agua potable y para usos industriales. Sin embargo, la sobreexplotación de los acuíferos confinados puede conducir a la disminución de los niveles de agua y a la intrusión de agua salina en áreas costeras, lo que compromete tanto la disponibilidad como la calidad del recurso

**Figura 2.** Características de acuíferos confinados.



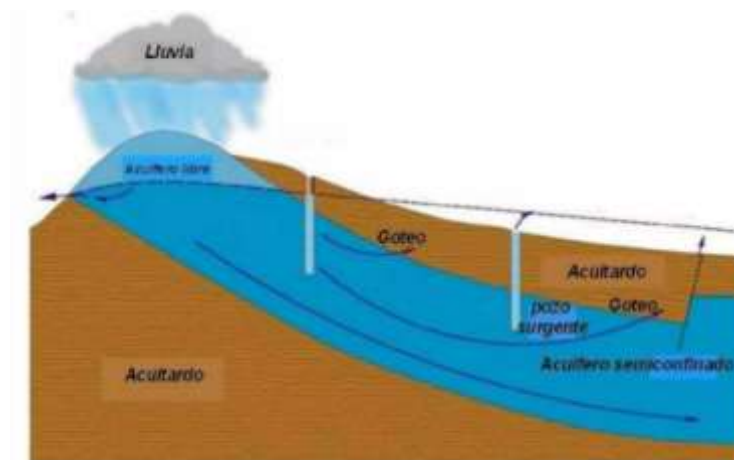
Nota. Fuente: (Valle & Zaragoza, 2019).

### 3.3.3. El acuífero semi confinado

El acuífero semiconfinado es un tipo intermedio de reservorio subterráneo que presenta características tanto de los acuíferos libres como de los acuíferos confinados. En este tipo de acuífero, el agua se encuentra parcialmente restringida entre una capa superior impermeable y

una capa inferior menos permeable, lo que significa que no está completamente encapsulada como en los acuíferos confinados. Esta disposición permite que el agua en un acuífero semiconfinado fluya con mayor libertad que en un acuífero confinado, pero aún enfrenta cierta limitación debido a las capas impermeables circundantes. La presión del agua en un acuífero semiconfinado puede variar, lo que puede requerir enfoques específicos para la extracción efectiva del recurso hídrico.

**Figura 3.** Características de acuíferos semiconfinados.



Nota. Fuente: (Valle & Zaragoza, 2019).

### **3.4. Tipos de captación**

#### **3.4.1. Pozos**

Son perforaciones verticales realizadas en el suelo hasta alcanzar el acuífero. Pueden ser de diferentes tipos, como pozos profundos, pozos de bombeo y pozos de observación. Los pozos permiten extraer agua directamente del acuífero para su uso (Proaño, 2018).

#### **3.4.2. Manantiales**

Fuentes de agua que emergen a través de las rocas y suelen encontrarse en la zona donde un acuífero se descarga (V. Sánchez, 2023).

### **3.5. Impactos de gestión deficientes de acuíferos**

La gestión deficiente de los acuíferos puede acarrear una serie de problemas significativos que afectan tanto al medio ambiente como a las comunidades humanas que dependen de estos recursos hídricos. A continuación, se describen algunas de las problemáticas más comunes (A. Sánchez et al., 2015).

#### **3.5.1. Sobreexplotación**

La sobreexplotación de acuíferos ocurre cuando la extracción de agua subterránea excede la capacidad natural de recarga del acuífero. Esto conduce a la disminución de los niveles freáticos, lo que puede resultar en la sequía de pozos y afectar adversamente el suministro de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales.

#### **3.5.2. Hundimiento del terreno**

La extracción de agua del acuífero puede llevar al colapso de los espacios vacíos subterráneos, lo que provoca el hundimiento del terreno. Este fenómeno puede resultar en daños estructurales a edificaciones, infraestructuras y sistemas de distribución de agua, afectando tanto áreas urbanas como rurales y comprometiendo la habitabilidad de las zonas afectadas.

#### **3.5.3. Contaminación del agua subterránea**

Los acuíferos son vulnerables a la contaminación debido a la infiltración de sustancias químicas derivadas de actividades humanas. Esto incluye prácticas agrícolas intensivas que utilizan pesticidas y fertilizantes en exceso, así como la disposición inapropiada de residuos industriales y vertidos de sustancias tóxicas. Estos contaminantes pueden percolar a través del suelo hasta los acuíferos, comprometiendo la calidad del agua potable y afectando los ecosistemas acuáticos asociados.



#### **3.5.4. Impacto en los ecosistemas acuáticos**

La sobreexplotación de los acuíferos no solo reduce los niveles de agua superficial vital para los ecosistemas acuáticos como ríos, humedales y lagos, sino que también aumenta la contaminación debido a la infiltración de sustancias químicas y residuos industriales. Esta situación conduce a la degradación de hábitats acuáticos, la pérdida de biodiversidad y el riesgo de colapso de las poblaciones de especies acuáticas.

#### **3.5.5. Escasez de agua**

La gestión inadecuada de los acuíferos puede llevar a la escasez de agua, especialmente en regiones donde la disponibilidad de agua superficial es limitada. Esto afecta negativamente el acceso a agua adecuada para uso doméstico, agrícola e industrial, con consecuencias socioeconómicas graves y un impacto significativo en la calidad de vida de las comunidades afectadas.

### **3.6. Estratigrafía**

La estratigrafía es una ciencia geológica que se especializa en interpretar las rocas estratificadas, organizadas en capas superpuestas llamadas estratos, desde el momento de su deposición. Su enfoque principal está en el estudio de las rocas sedimentarias que mantienen su estratificación original, así como en las rocas volcánicas y las capas de sedimentos que aún no han sido litificadas. Cada estrato representa el resultado de un depósito ocurrido durante un intervalo de tiempo específico. Esta ciencia permite reconstruir las condiciones ambientales y el período en el que se formaron las capas geológicas, proporcionando información valiosa sobre la historia de la Tierra. (Cadena, 2022).

### **3.7. Estrato**

Los estratos son formaciones de rocas sedimentarias que se depositan en áreas específicas durante períodos de tiempo determinados, estas capas se distinguen a simple vista debido a su

aparición uniforme. Los sedimentos que componen los estratos se acumulan en las orillas de los ríos, en los fondos marinos o al pie de las montañas. Los estratos más recientes se encuentran en la parte superior y suelen consistir en lodos o areniscas, que son suaves y fácilmente deformables, debido su sedimentación acumulada, por otro lado, los estratos más antiguos se localizarán en las capas subterráneas, y se caracterizan por estar compuestos de gravas o rocas que se vuelven más sólidas con el paso del tiempo como se observa en la (figura 4), (Remache, 2017).

**Figura 4.** *División de sedimentos en capas estratigráficas*



*Nota.* Fuente: (Remache, 2017).

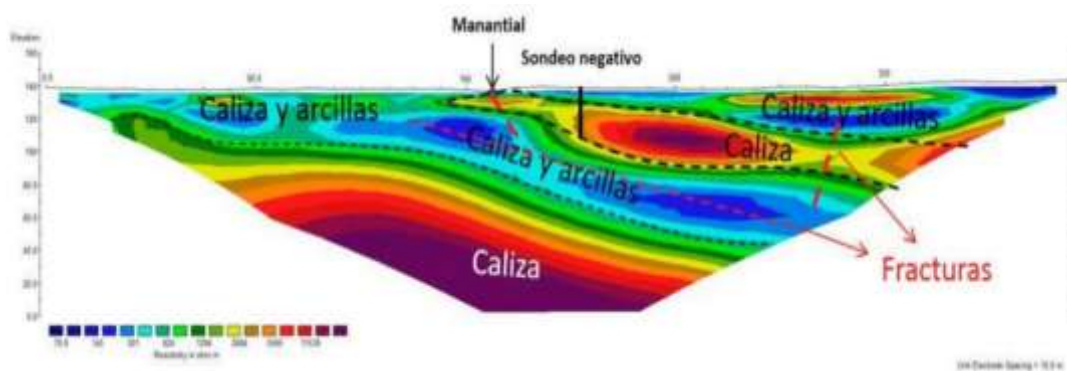
### **3.8. Tomografías eléctricas de resistividad del subsuelo**

Es una técnica geofísica utilizada para mapear la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo. Por lo tanto, La resistividad eléctrica es una propiedad que depende de la composición, la disposición de los componentes sólidos del suelo, el contenido de agua y la temperatura, y mide la resistencia del material al flujo de corriente eléctrica por lo tanto es una medida que permite interpretar la variabilidad de las propiedades físicas del suelo, expresada en unidades de ohmios-metro ( $\Omega m$ ). Será necesario emplear un programa de inversión para convertir las resistividades aparentes registradas en campo en valores precisos de resistividades reales. Este método se fundamenta en la obtención de una sección 2D de resistividades del subsuelo, son utilizadas para transformar las resistividades aparentes obtenidas en las lecturas de campo en valores de resistividades reales del subsuelo. Este proceso consiste en crear un

modelo bidimensional (2D) de la distribución de resistividad en el subsuelo, lo que permite interpretar de manera más precisa las propiedades físicas del suelo. A través de este método, se puede determinar la presencia o ausencia de filtraciones de agua en profundidad al identificar áreas con anomalías en los valores de resistividad del terreno. (Losinno et al., 2018)

Además, se puede complementar con una lectura en 3D, utilizado para obtener una visualización más completa y detallada de la distribución de las resistividades en el subsuelo. Esto se logra realizando observaciones en perfiles paralelos equidistantes, lo que permite una interpretación tridimensional de las variaciones en resistividad y una mejor comprensión de la estructura interna del terreno.

**Figura 5.** Esquema de la inversión de las resistividades en 2D.



Nota. Fuente: (Técnica Geofísicas SL,2017).

### **3.9. Factores que influyen en la resistividad**

La resistividad eléctrica del suelo está influenciada por diversos factores esenciales para la conducción de electricidad. Los siete factores principales que afectan la resistividad del suelo son: la naturaleza del terreno, la humedad, la salinidad, la estratigrafía del terreno, la temperatura, las variaciones estacionales y la compactación del suelo. A continuación, se detallan estos factores (Mayorga, 2020):

#### **3.9.1. Naturaleza del terreno**

La composición granulométrica del suelo influye significativamente en su resistividad. Los suelos de grano fino, como la arcilla, tienen una resistividad mucho menor y son mejores

conductores en comparación con los suelos de grano medio o grueso. A medida que aumenta el tamaño de las partículas, también aumenta la resistividad del terreno. Por lo tanto, las rocas y la grava presentan una mayor resistividad que la arena, y esta, a su vez, tiene una mayor resistividad que la arcilla.

### **3.9.2. Humedad**

La cantidad de agua presente en el suelo es un factor crucial para la resistividad. Los suelos húmedos tienen una resistividad menor que los suelos secos. En épocas de sequía, la resistividad del suelo se eleva considerablemente. Para obtener valores de resistividad más bajos y precisos, es recomendable añadir agua al suelo continuamente.

### **3.9.3. Salinidad**

La salinidad del suelo afecta la resistividad debido a la presencia de sales disueltas en el agua del suelo. Estas sales se descomponen en iones que facilitan la conducción de electricidad. Si el suelo tiene bajas concentraciones de sales, la resistividad será alta. Por el contrario, una mayor concentración de sales reduce la resistividad del suelo.

### **3.9.4. Temperatura**

La temperatura del suelo varía a lo largo del día y afecta la resistividad. A temperaturas bajas, la resistividad del suelo aumenta. Es recomendable realizar estudios de resistividad en horas de la mañana o al final de la tarde, cuando la temperatura del suelo es más estable, para obtener resultados más precisos.

### **3.9.5. Estratigrafía del terreno**

El terreno está compuesto por diferentes capas con diversas propiedades litológicas. Esta heterogeneidad influye en los valores de resistividad. A medida que se colocan los electrodos y se realizan mediciones, la textura y composición del suelo pueden cambiar, afectando los

resultados. Por ello, es importante considerar la estratigrafía del terreno en los estudios de resistividad.

### **3.9.6. Variaciones estacionales**

La resistividad del suelo varía según las estaciones del año. Durante las temporadas lluviosas, la resistividad tiende a ser más baja debido al aumento de la humedad en el suelo. Considerar estas variaciones estacionales es crucial para obtener mediciones precisas y consistentes.

### **3.9.7. Compactación del terreno**

Al instalar los electrodos en el suelo, la vibración producida por el martillo puede causar una separación entre el electrodo y el suelo, lo que afecta la medición de la resistividad. Es recomendable compactar bien el terreno alrededor de los electrodos para asegurar un buen contacto y obtener resultados más precisos.

### **3.10. Equipo requerido**

En la (figura 6) se puede apreciar la clasificación de los equipos requeridos para ser aplicados en el campo las cuales son:

**Electrodos:** Son barras metálicas fabricadas de acero inoxidable que deben tener un mango para fijar el conector y una pinza para conectar con el cable. Se utilizan 48 electrodos para el trabajo en campo.

**Cables:** Cada uno tiene una longitud de 120 m. Al colocarlos en el terreno, estos cables son responsables de conducir la corriente eléctrica desde el equipo hasta los electrodos, o viceversa.

**Conectores:** Son cables cortos con una longitud de 30 cm. En sus extremos tienen dos pinzas metálicas de tamaño adecuado para sujetarse a los electrodos, garantizando así una conexión firme entre los cables y el equipo.

**Unidad central resistivímetro (SYSCAL):** Es el componente principal del equipo, responsable de generar la corriente necesaria en el subsuelo para medir la resistividad. Además, muestra la magnitud de la corriente eléctrica y la diferencia de potencial medida.

**Batería:** Es la fuente de energía que necesita el equipo SYSCAL. Se conecta a la unidad central y suministra la corriente eléctrica necesaria para todo el sistema. Esta batería debe ser recargable, portátil y fácil de reemplazar.

**Figura 6.** *Equipo requerido para tomografías.*



### 3.11. Pruebas de bombeo

Estas pruebas se realizan para evaluar las características hidráulicas de un acuífero y determinar su respuesta al bombeo de agua. Durante una prueba de bombeo, se extrae agua de un pozo a un caudal constante mientras se registran los cambios en el nivel del agua en el pozo de bombeo y en pozos cercanos de monitoreo. Estos datos se utilizan para analizar la capacidad de almacenamiento del acuífero, la conductividad hidráulica, el coeficiente de almacenamiento, entre otros parámetros. Las pruebas de bombeo permiten estimar la productividad del pozo, evaluar la recarga del acuífero y obtener información sobre su comportamiento hidráulico (Schosinsky, 2011).

### **3.12. Conductividad Hidráulica**

La conductividad hidráulica se refiere a la capacidad de un material para permitir el paso del agua a través de él. Es un indicador de cuán fácilmente el agua puede desplazarse por un medio poroso, como suelos, arenas o rocas. Esta propiedad depende de múltiples factores, entre los que se encuentran la porosidad del material, el tamaño y la forma de los poros, así como la viscosidad del agua. Una conductividad hidráulica alta indica que el agua puede fluir con mayor facilidad a través del material (Huerta, 2022).

### **3.13. Método para determinar la conductividad hidráulica**

Existen varios métodos para determinar la conductividad hidráulica de un material. Estos métodos se pueden clasificar en ensayos de laboratorio y pruebas de campo (Guillermo et al., 2018).

#### **3.13.1. Método prueba en campo**

Este método implica perforar pozos en el suelo y bombear agua desde uno de ellos. Se observa la disminución del nivel del agua en pozos cercanos para determinar la conductividad hidráulica del acuífero. Al medir el descenso del nivel de agua en los pozos de observación, se obtiene una estimación precisa de la capacidad del acuífero para transmitir agua.

#### **3.13.2. Método ensayos en laboratorio**

Para evaluar la conductividad hidráulica, se toman muestras de suelo o material poroso del lugar de estudio y se analizan en el laboratorio. Estos análisis se realizan utilizando equipos como columnas de flujo, permeámetros y celdas de carga, que permiten medir el movimiento del agua a través de las muestras. La conductividad hidráulica puede variar considerablemente debido a factores ambientales como el grado de saturación del suelo, los gradientes de presión y la disposición de las capas del terreno. Por ello, es esencial efectuar múltiples mediciones en

diferentes puntos y bajo diversas condiciones para obtener una estimación precisa y representativa de la conductividad hidráulica en una determinada área.

### **3.14. Modelo Hidrogeológico**

Un modelo hidrogeológico es una representación detallada, ya sea conceptual o matemática, que describe cómo se mueve el agua subterránea a través de un sistema geológico. Este tipo de modelo combina información de diversas disciplinas, incluyendo datos geológicos, hidrológicos y geofísicos, para replicar y anticipar el comportamiento del flujo de agua subterránea en una zona específica (Fernández & Sánchez, 2017).

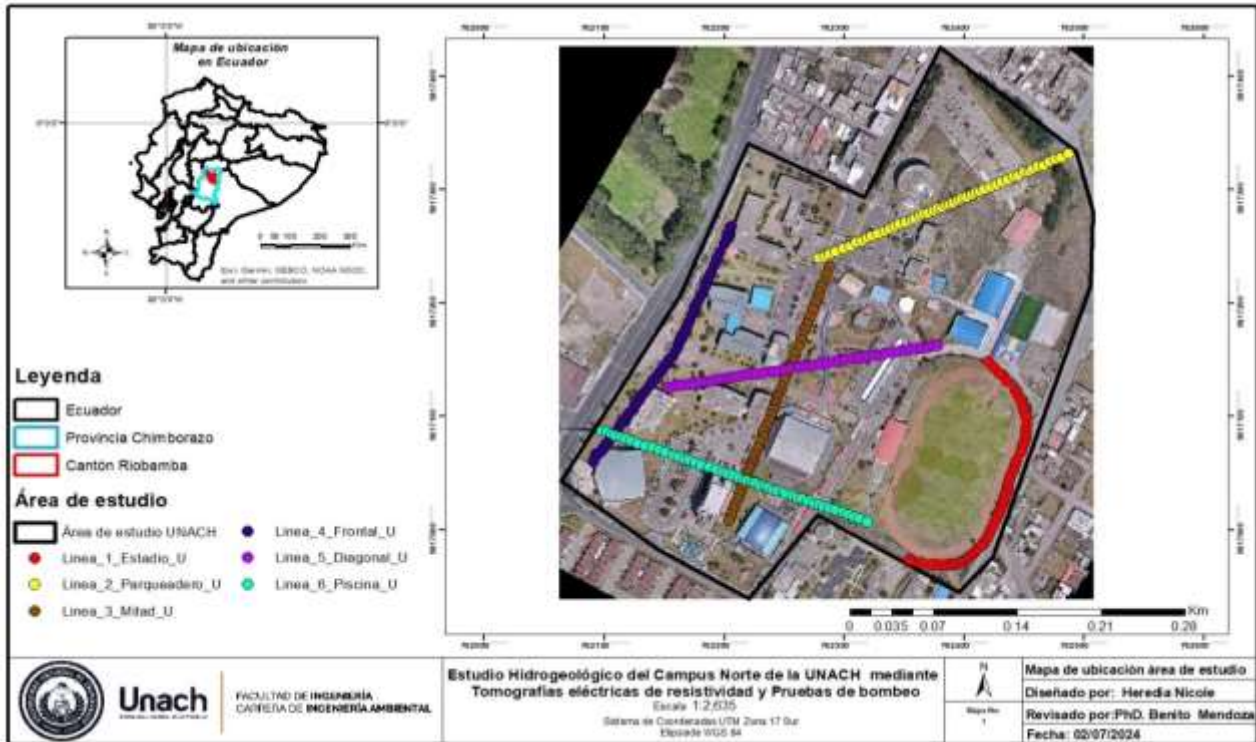


## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Campus Norte de la Universidad Nacional de Chimborazo, Cantón Riobamba, Provincia Chimborazo.

Figura 7. Mapa de Ubicación del Campus Norte de la UNACH.



### 4.2. Tipo de Investigación

Se lleva a cabo una investigación de tipo exploratorio y descriptivo. La investigación exploratoria se realiza con el propósito de obtener un entendimiento en profundidad sobre un tema en particular, especialmente si no se ha investigado previamente. Este tipo de investigación se utiliza para explorar diversos aspectos del tema, descubrir nuevas ideas, conceptos o relaciones y generar hipótesis preliminares. Por otro lado, la investigación descriptiva se enfoca en proporcionar una descripción y explicación detallada mediante la recopilación de datos precisos para describir las características, propiedades o comportamientos del fenómeno de estudio.

### **4.3.Diseño de Investigación**

La presente investigación en la zona de estudio adopta un enfoque mixto que involucra la recopilación, análisis e integración tanto de métodos cuantitativos como cualitativos. Este enfoque se emplea cuando se busca obtener una comprensión más profunda del problema de investigación.

### **4.4.Configuración del equipo en campo y adquisición de datos**

Las tomografías eléctricas de resistividad y las pruebas de bombeo son dos técnicas diferentes que se utilizan para obtener información sobre las propiedades hidrogeológicas del subsuelo por lo que se desarrollará en el Campus Norte de la UNACH. Por lo general, se realizan por separado y se utilizan para diferentes propósitos.

### **4.5.Líneas de lectura**

Para la lectura de cada línea tomográfica, se tuvieron en cuenta diversos factores, como la accesibilidad y que las condiciones ambientales sean idóneas, se determinaron los puntos de muestreo mediante el uso del GPS (GARMIN 62S), una herramienta que facilita el procesamiento de las coordenadas UTM de cada electrodo del equipo SYSCAL PRO. También se utilizó una imagen de dron junto con un modelo digital del terreno procesado en un software de SIG para crear el mapa de la zona de estudio. En este mapa, se ubicaron cada una de las tomografías realizadas con el equipo SYSCAL PRO.

Para analizar la conductividad hidráulica mediante pruebas de bombeo, se utilizan instrumentos de utilidad para la medición del caudal, permitiendo obtener datos en tiempo real, sobre el comportamiento del acuífero al momento de la extracción del agua, estos dispositivos automáticos y la tecnología GPS nos ayuda a proporcionar una información detallada sobre los cambios en el nivel del agua, la conductividad hidráulica y caudal de trabajo.

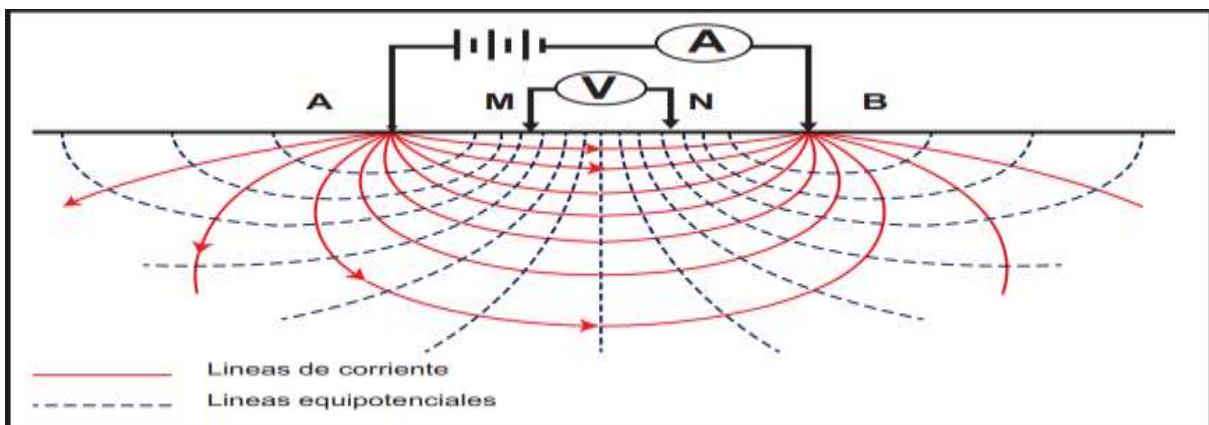
En ANEXOS se encuentra una tabla donde se detalla las coordenadas de cada electrodo en unión a cada una de las tomografías que se realizaron de forma lineal en el campo.

#### 4.6. Funcionamiento de la tomografía eléctrica

El funcionamiento de la tomografía se basa en principios similares a los métodos de resistividad convencionales. Requiere el uso de cuatro electrodos y se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A, B) y dos para el potencial (M, N). Los electrodos A y B introducen un campo eléctrico en el suelo, mientras que M y N miden la diferencia de potencial eléctrico ( $\Delta V$ ) entre los dos puntos. A partir de  $\Delta V$ , se pueden calcular los valores de resistividad en el punto medio del dispositivo a una profundidad específica (Carrasco, 2011).

En la Figura 8 se muestra el esquema del funcionamiento de los electrodos para la tomografía eléctrica.

*Figura 8. Configuración Dipolo-Dipolo.*

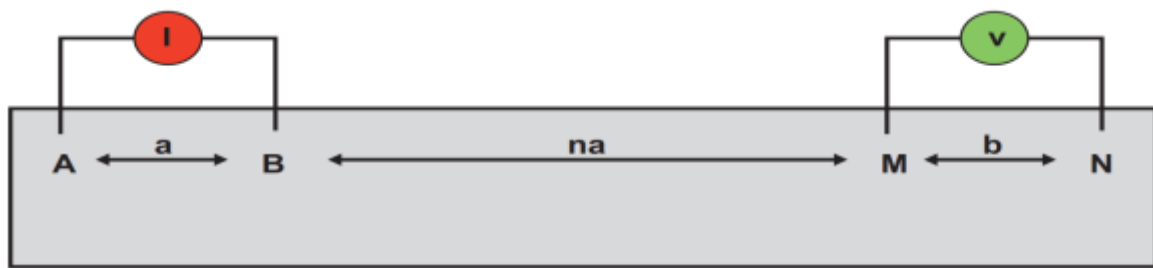


*Nota.* Fuente: (Carrasco, 2011).

La resistividad aparente ( $R_A$ ) se mide con un dispositivo que utiliza cuatro electrodos, colocados a una distancia constante denominada «a». Al variar las distancias entre los electrodos emisores y receptores en múltiplos de un valor conocido como «ñ», se puede obtener una sección de resistividad aparente a diferentes profundidades en el subsuelo. Los datos de las lecturas de cada línea se procesan usando algoritmos matemáticos de inversión para crear un

modelo de resistividad del subsuelo (Carrasco, 2011) La configuración del estudio geoelectrico se determina según el objetivo específico del estudio, siendo los métodos más utilizados: Wenner, Schlumberger y Dipolo-Dipolo. El arreglo Dipolo-Dipolo (Figura 9) es especialmente eficaz para detectar cambios geológicos laterales en el subsuelo, como estructuras litológicas y sedimentarias (fallas, diaclasas y fracturas), debido a su alta capacidad resolutive (Mendoza et al., 2018).

**Figura 9.** Configuración Dipolo-Dipolo.



Nota. Fuente: (Griem, 2016).

En esta configuración, los electrodos de corriente suelen estar separados por una distancia considerable del par de electrodos de potencial. Si la separación entre los electrodos de corriente "a" es igual a la separación entre los electrodos de potencial "b", la distancia entre los centros de los pares de electrodos es (n+1) veces la distancia "a" (Griem, 2016).

La (RA) determinada por este método se obtiene mediante la (Ecuación 1):

$$\rho_a = n \times (n + 1) \times (n + 2) \times \pi \times a \times (\Delta V / I) \quad (1)$$

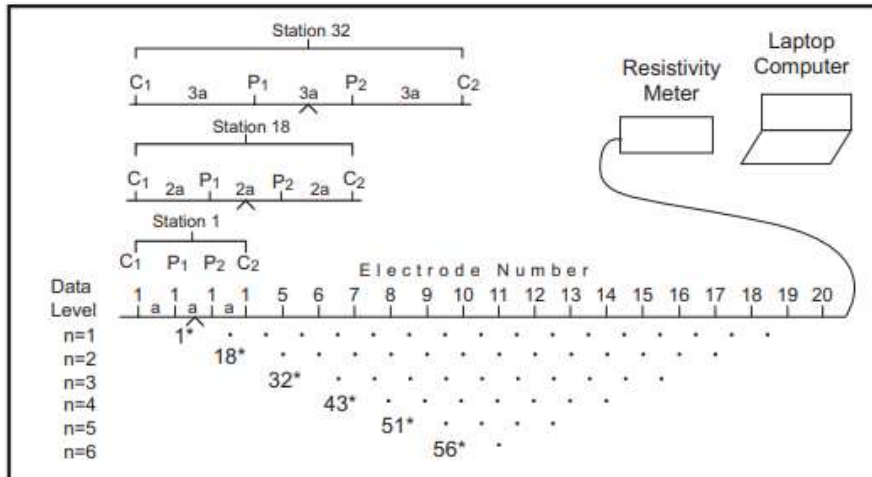
**Donde:**  $\rho_a$ : Resistividad aparente; n: nivel de adquisición; a: espaciamento de los electrodos;  $\Delta V$ : diferencia de potencial; I: corriente eléctrica.

#### 4.7. Técnica para efectuar una tomografía eléctrica

Lo primero que se debe hacer para llevar a cabo una tomografía eléctrica (figura 10) en dos dimensiones (2D), se comienza colocando los electrodos en la superficie de manera adecuada,

lo más posible de que formen una línea recta que defina el inicio y el final del perfil para así no tener problemas en la interpretación de datos (Mendoza et al., 2018).

**Figura 10.** Secuencia de medidas para la tomografía eléctrica 2D.



*Nota.* Fuente: (Carrasco, 2011).

Una vez que se introduce los electrodos en la superficie del suelo a una profundidad suficiente para obtener un mejor contacto entre el electrodo y el suelo al momento de conectarlos al cable de transmisión, luego en la computadora se configurarán las variables del dispositivo de adquisición como son: el número de electrodos (48), la distancia entre electrodos (5 m), antes de iniciar la lectura, el dispositivo SYSCAL ejecuta un escaneo automático para verificar el correcto funcionamiento, garantizando que la resistividad entre el electrodo y el suelo sea baja, en el caso de tener valores altos, se humedece el terreno para mejorar la conductividad.

El método Dipolo-Dipolo, fue utilizado para llevar a cabo esta adquisición de datos, esta configuración permite realizar 966 mediciones alcanzando una profundidad de hasta 60 m en cada una de las 6 tomografías realizadas en el área de estudio. Una vez que se concluye este proceso, la información almacenada se transfiere a la computadora para posteriormente procesarlos con el software PROSYS II, donde se corrige alguna anomalía en las resistividades, es decir, resistividades negativas o con valores iguales a 0. Luego en el software Res2Inv, se

ve las interpretaciones de las resistividades corregidas, este software emplea varios métodos de interpolación, siendo el seleccionado el método Kriging (Solana, 2014).

Después de la inversión, se genera una "imagen de resistividades y profundidades reales" en formato 2D. Para convertir estas imágenes en un modelo tridimensional, se empleó el software Voxler4, que facilita la visualización de datos con múltiples componentes y permite transformarlos en modelos geofísicos en 3D.

#### **4.8. Interpretación de la inversión de la resistividad eléctrica aparente**

La resistividad eléctrica de las rocas varía ampliamente debido a factores como porosidad, permeabilidad, temperatura, saturación y composición de los fluidos, así como el grado de fracturamiento y los minerales presentes. La humedad influye significativamente, ya que variaciones en un mismo terreno pueden llevar a interpretaciones incorrectas. Además, una topografía irregular también afecta el flujo de corriente, concentrándose en los valles y dispersándose en las colinas (Butler, 2005). A continuación, se utiliza la (Tabla 1) para identificar la estratigrafía del subsuelo en las mediciones realizadas en el campo.

**Tabla 1.** *Valores de las resistividades en diferentes materiales.*

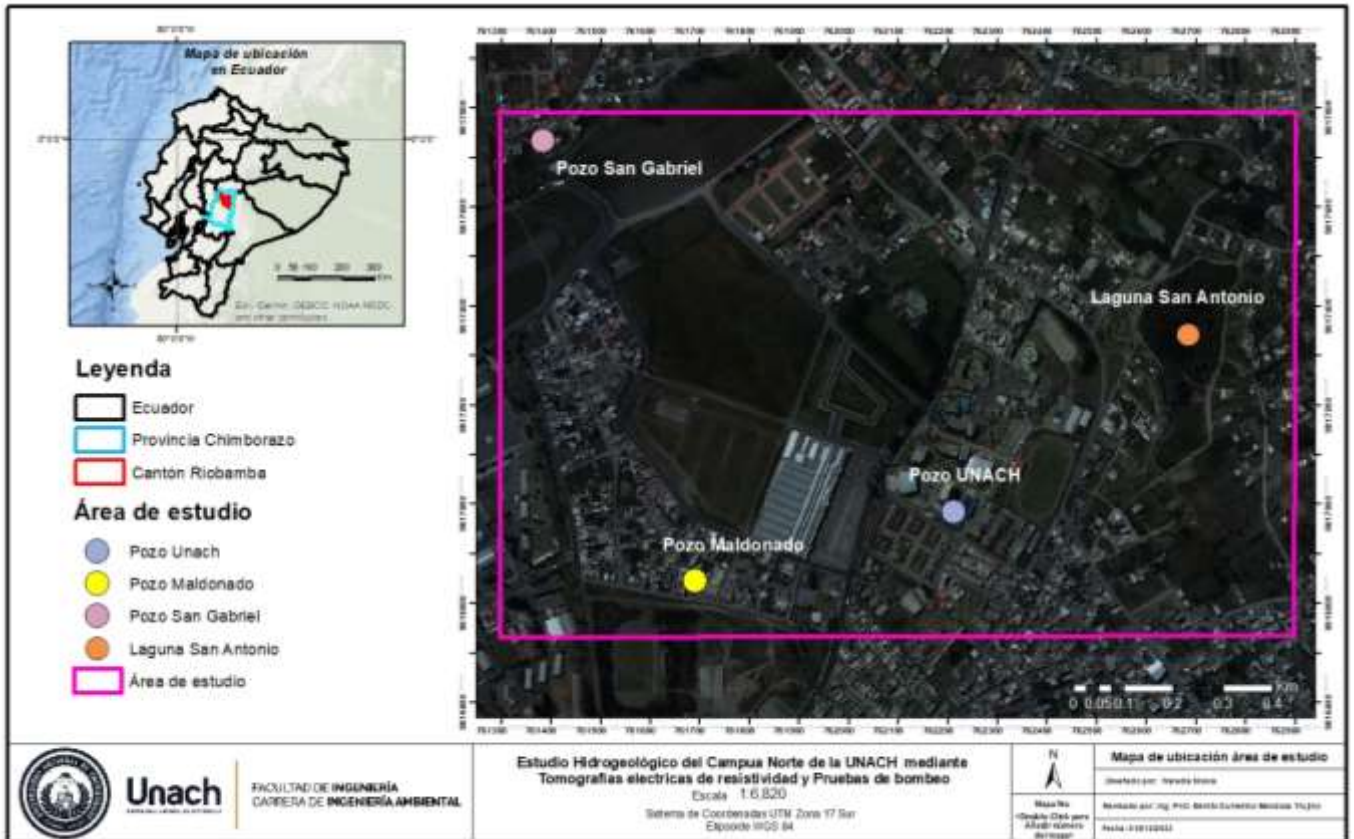
<b>Material</b>	<b>Resistividad (ohm.m)</b>	
	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Grava</b>	50 (agua saturada)	>104 (en seco)
<b>Arena</b>	50 (agua saturada)	>104 (en seco)
<b>Limo</b>	20	50
<b>Marga</b>	30	100
<b>Arcilla (húmeda)</b>	5	30
<b>Arcilla (seca)</b>		>1000
<b>Lodos</b>	15	25

<b>Arenisca</b>	<50 (húmedo)	>105 (en compacto)
<b>Caliza</b>	100 (húmedo)	>105 (en compacto)
<b>Esquisto</b>	50 (húmedo)	>105 (en compacto)
<b>Toba</b>	2x10 <sup>3</sup> (húmedo)	105 (mojada)
<b>Rocas ígneas y metamórficas</b>	<100 (degradado, húmedo)	>106 (en compacto)
<b>Roca de sal</b>	30 (húmedo)	>106 (en compacto)
<b>Residuos domésticos e industriales</b>	<1	>1000 (de plástico)
<b>Agua natural</b>	10	300
<b>Agua de mar (35% NaCl)</b>	0.25	
<b>Agua salada (salmuera)</b>	<0.15	3x10 <sup>3</sup>
<b>Agua superficial (rocas ígneas)</b>	0.1	100
<b>Agua superficial (sedimentos)</b>	10	106

*Nota.* Fuente:(Zúñiga, 2011)

## 4.9. Técnica para analizar la conductividad hidráulica mediante las Pruebas de Bombeo.

Figura 11. Mapa de ubicación de los pozos de extracción de agua subterránea del pozo San Gabriel, Maldonado y la Unach.



## 4.10. Determinación de la Conductividad Hidráulica Mediante Pruebas de Bombeo

Una prueba de bombeo se emplea para caracterizar un acuífero bajo condiciones controladas, midiendo el descenso del nivel del agua en pozos de observación dentro del área de influencia del bombeo (Martínez Mónica, 2018). Este proceso requiere el uso de herramientas como un cronómetro y un medidor de nivel freático, los cuales permiten registrar el descenso del agua en intervalos de tiempo específicos. Además, es necesario obtener las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de cada pozo involucrado en el estudio, utilizando un GPS para garantizar una ubicación precisa (Martínez Mónica, 2018).



Utilizando el “Método de Theis”, el cual describe la dinámica del movimiento, de manera analítica, de un líquido a través de medios porosos, sin la necesidad de pozos de observación, se determinará la conductividad hidráulica (Theis, 1952).

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W_{(u)} \quad [2]$$

$$T = \frac{QW_{(u)}}{4\pi d} \quad [3]$$

$$S = \frac{Ttu}{r^2} \quad [4]$$

$$K = \frac{T}{h} \quad [5]$$

**Donde:**

**S:** Coeficiente de almacenamiento.

**Q:** Caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s).

**T:** Transmisividad (m<sup>2</sup>/d).

**t:** Tiempo de la prueba de bombeo (min).

**D:** Descenso del nivel freático (m).

**r:** Distancia del pozo de observación al pozo de bombeo(m).

**W<sub>(u)</sub>; u:** Función de pozo.

**K:** Conductividad hidráulica (m/d).

**h:** Espesor de la zona de filtros de los pozos.

## **CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

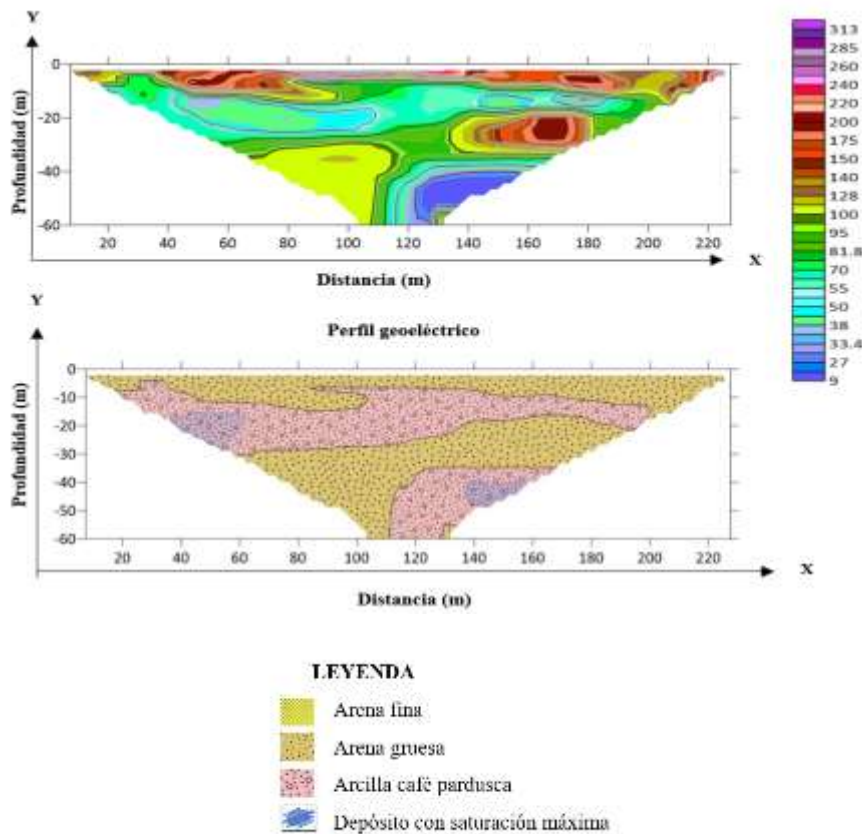
### **5.1.Reconstrucción estratigráfica en 2D y 3D del campus Norte de la Unach.**

Para una interpretación adecuada, primero se identifica la geología de la zona, determinando el área de estudio, finalmente analizando todas las variables ambientales a nuestro alrededor, podemos determinar que se encuentra en una zona de relleno, además cerca de la zona de estudio se encuentra la laguna “San Antonio”. La posición geográfica de los puntos de muestreo se realizó con el GPS obteniendo coordenadas UTM de cada posición de los electrodos, con una separación entre electrodos de 5 m cada una, utilizando la configuración Dipolo- Dipolo que permite realizar 966 mediciones, alcanzando 60 m de profundidad de cada una de las 6 tomografías.

#### **5.1.1. Primera línea**

La primera línea se realizó en el estadio del campus Norte de la UNACH, donde en la (figura 12) se obtuvieron los siguientes resultados: se observan resistividades eléctricas de rangos entre 9 ohm.m a 313 ohm.m. en el tramo de 60 a 150 m a una profundidad de 30 m se aprecian valores de resistividades entre 9 a 60 ohm.m en la gama de color azul, correspondientes a zonas con alta permeabilidad, de 70 a 128 ohm.m con gama de color verde y amarillo puede indicar la presencia de suelos húmedos, arena variada predominando la mediana y arcilla café pardusca. En las distancias de 90 a 130 m a profundidades de 10 m se observan resistividades que varían de 285 a 313 ohm.m, valores propios de rocas volcánicas.

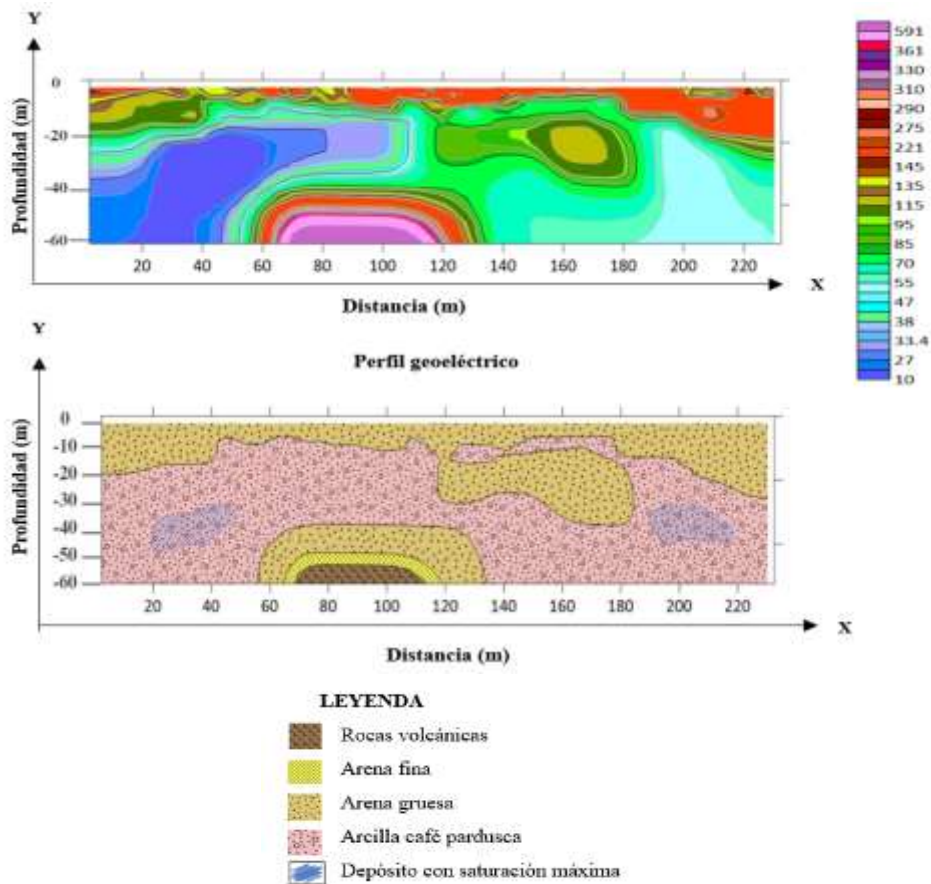
Figura 12. Estratigrafía 2D Primera Línea.



### 5.1.2. Segunda línea

La segunda línea se realizó en el garaje de estudiantes de la Unach, donde en la (figura 13) se obtuvieron los siguientes resultados: se observan resistividades eléctricas de rangos entre 10 a 591 ohm.m. en el tramo de 20 a 70 m a una profundidad desde 20 a 60 m se aprecian valores de resistividad entre 10 a 30 ohm.m, en la gama de color azul, correspondientes a zonas con alta permeabilidad hasta depósitos con saturación moderada a baja. De 70 a 135 ohm.m, con gamas de color verde y amarillo a partir de la superficie hasta 30 m de profundidad, puede indicar la presencia de suelos con grava y gravilla con pequeño porcentaje de arena gruesa y arcilla café pardusca. En las distancias de 60 a 120 m a profundidades de 60 m se observan resistividades que varían de 330 a 591 ohm.m, valores propios de rocas volcánicas.

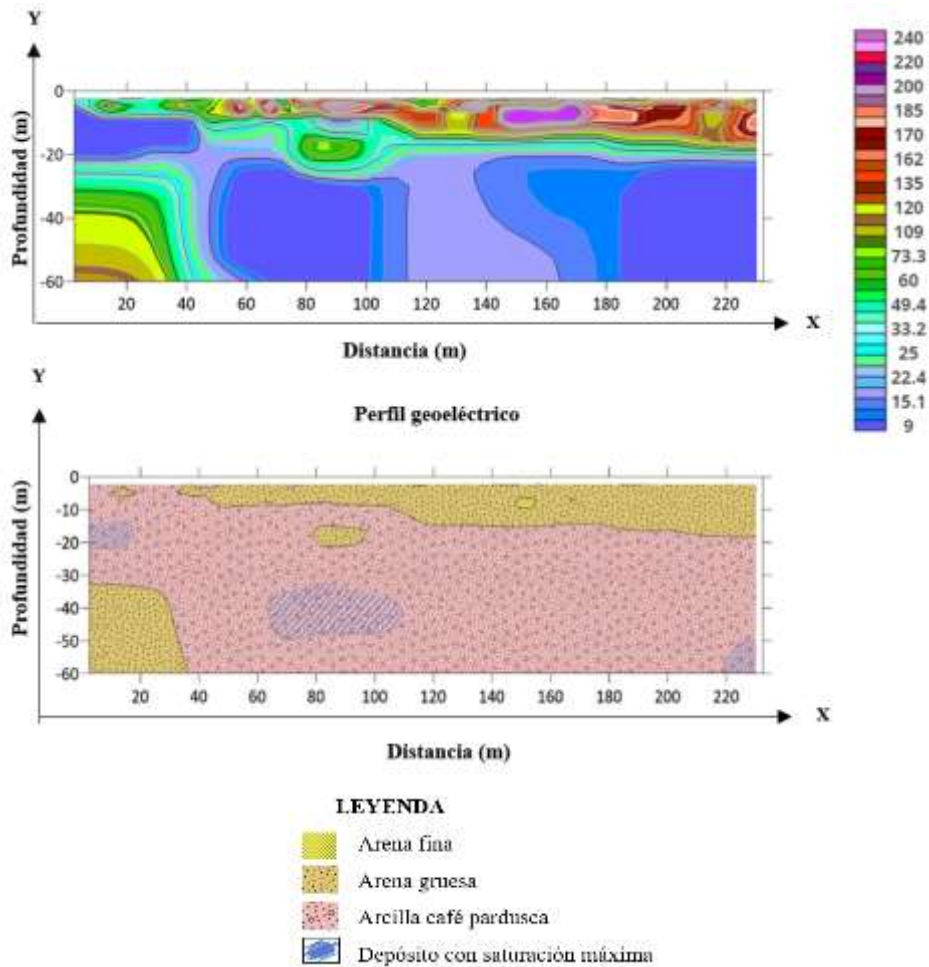
**Figura 13. Estratigrafía 2D Segunda Línea.**



### 5.1.3. Tercera línea

La tercera línea se realizó en la parte central de la Unach, donde en la (figura 14) se obtuvieron los siguientes resultados: se observan resistividades eléctricas de rangos entre 9 a 240 ohm.m. en el tramo de 20 a 220 m a una profundidad desde 10 a 60 m se aprecian valores de resistividad entre 9 a 22.4 ohm.m, en la gama de color azul, correspondientes a zonas con alta permeabilidad hasta depósitos con saturación moderada a baja. De 70 a 120 ohm.m, con gamas de color verde y amarillo a partir de la superficie hasta 50 m de profundidad, puede indicar la presencia de suelos húmedos, poco contenido de grava y arcilla café pardusca. En las distancias de 150 a 170 m a profundidades de 10 m se observan resistividades que varían de 220 a 240 ohm.m, valores propios de rocas volcánicas.

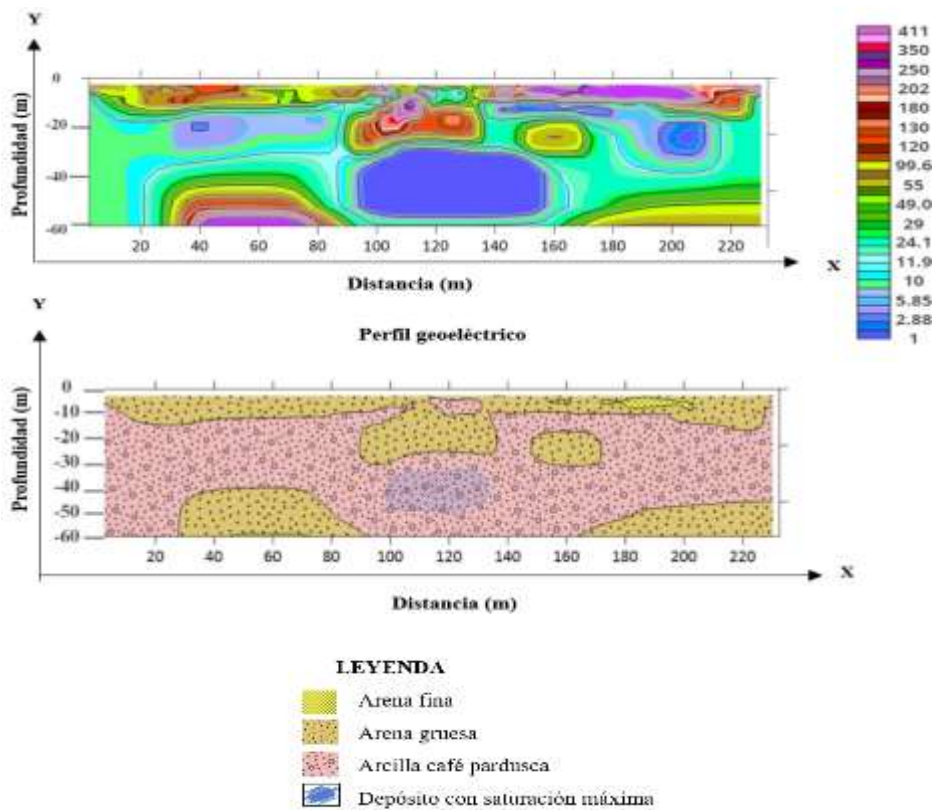
**Figura 14.** Estratigrafía 2D Tercera Línea.



#### 5.1.4. Cuarta Línea

La cuarta línea se realizó en la parte frontal de la Unach, donde en la (figura 15) se obtuvieron los siguientes resultados: se observan resistividades eléctricas de rangos entre 1 a 411 ohm.m. en el tramo de 100 a 210 m a una profundidad desde 10 a 50 m se aprecian valores de resistividad entre 1 a 2.88 ohm.m, en la gama de color azul, correspondientes a zonas con alta permeabilidad hasta depósitos con saturación moderada a baja. De 29 a 55 ohm.m, con gamas de color verde y amarillo a partir de la superficie hasta 5 m de profundidad, puede indicar la presencia de suelos arcillosos con pequeño porcentaje de grava. En las distancias de 35 a 80 m y de 150 a 230 m a profundidades de 10 m y 60 m, se observan resistividades que varían de 350 a 411 ohm.m, valores propios de rocas volcánicas.

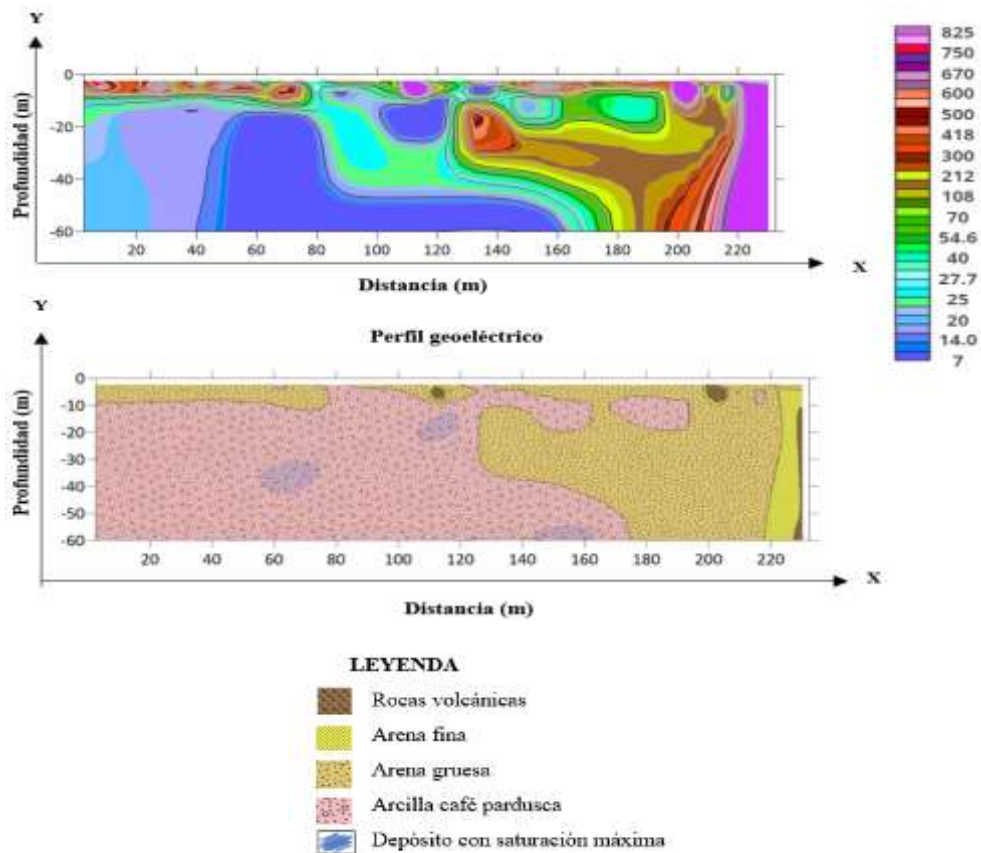
**Figura 15. Estratigrafía 2D Cuarta Línea.**



### 5.1.5. Quinta Línea

La quinta línea fue trazada en una dirección diagonal en la Unach, donde en la (figura 16) se obtuvieron los siguientes resultados: se observan resistividades eléctricas de rangos entre 7 a 825 ohm.m. en el tramo de 40 a 160 m a una profundidad desde 15 a 60 m se aprecian valores de resistividad entre 7 a 10 ohm.m, en la gama de color azul, correspondientes a zonas con alta permeabilidad hasta depósitos con saturación moderada a baja. De 54 a 108 ohm.m, con gamas de color verde y amarillo a partir de la superficie hasta 10 m de profundidad, puede indicar la presencia de suelos húmedos, arenas con algo de contenido de agua, o arcillas. En las distancias de 210 a 220 m a profundidades de 10 m y 60 m, se observan resistividades que varían de 600 a 670 ohm.m, valores propios de rocas volcánicas.

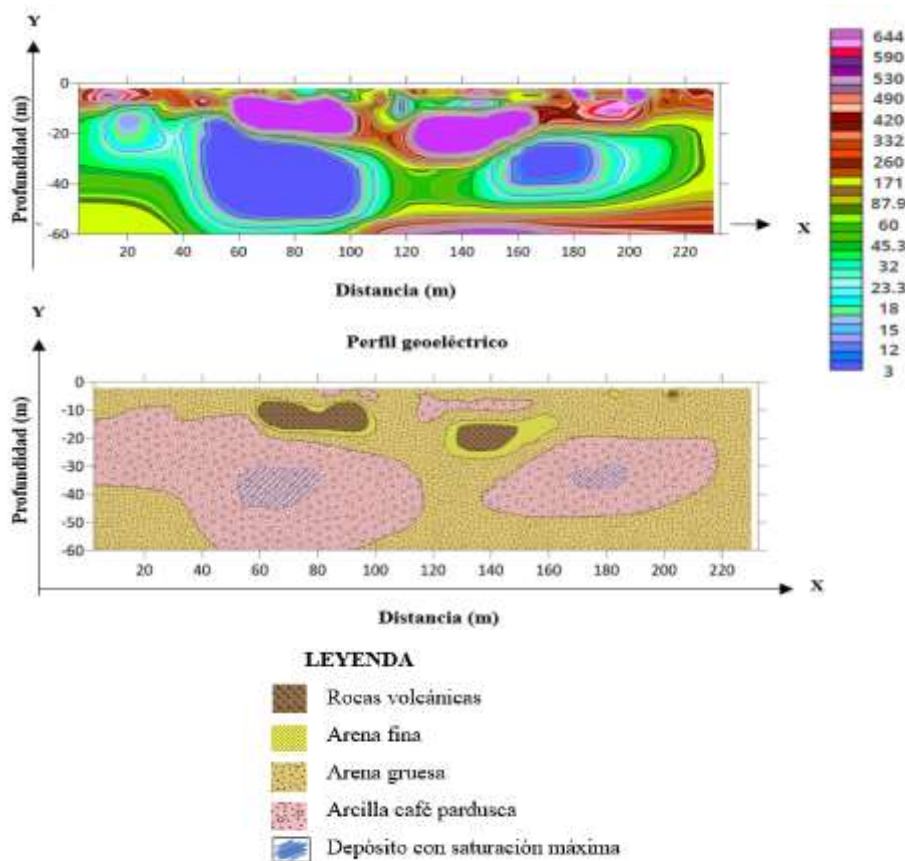
Figura 16. Estratigrafía 2D Quinta Línea.



### 5.1.6. Sexta Línea

La sexta línea se realizó vertical a la piscina hasta el estadio de la Unach, donde en la (figura 17) se obtuvieron los siguientes resultados: se observan resistividades eléctricas de rangos entre 3 a 644 ohm.m. en el tramo de 40 a 100m y de 160 a 190 m a una profundidad desde 15 a 55 m se aprecian valores de resistividad entre 3 a 15 ohm.m, en la gama de color azul, correspondientes a zonas con alta permeabilidad hasta depósitos con saturación moderada a baja. De 60 a 170 ohm.m, con gamas de color verde y amarillo a partir de la superficie hasta 10 m de profundidad, puede indicar la presencia de suelos húmedos, arenas con algo de contenido de agua, o arcillas. En las distancias de 60 a 210 m a profundidades de 5 m, 25 m y a 60 m, se observan resistividades que varían de 590 a 644 ohm.m, valores propios de rocas volcánicas.

**Figura 17. Estratigrafía 2D Sexta Línea.**



### 5.1.7. Reconstrucción y análisis del modelo estratigráfico 3D de la zona de estudio.

La (figura 18) muestra el resultado de aplicar la modelación en 3D a las 6 tomografías que se realizó en el Campus Norte de la UNACH, que presenta resistividades entre 5 ohm.m a 50 ohm.m, mostrando los depósitos de saturación máxima de color violeta en la parte inferior del modelo, probablemente representa una recarga hídrica por debajo del Campus. predomina los colores verde y amarillo con resistividades desde 243 ohm.m hasta 481 ohm.m propios de arena variada predominando la mediana, poco contenido de grava, arcilla y las resistividades entre 719 ohm.m hasta 957 ohm.m de colores naranja a rojo que representan las rocas volcánicas.



Figura 18. Reconstrucción del modelo estratigráfico de la Unach en 3D.

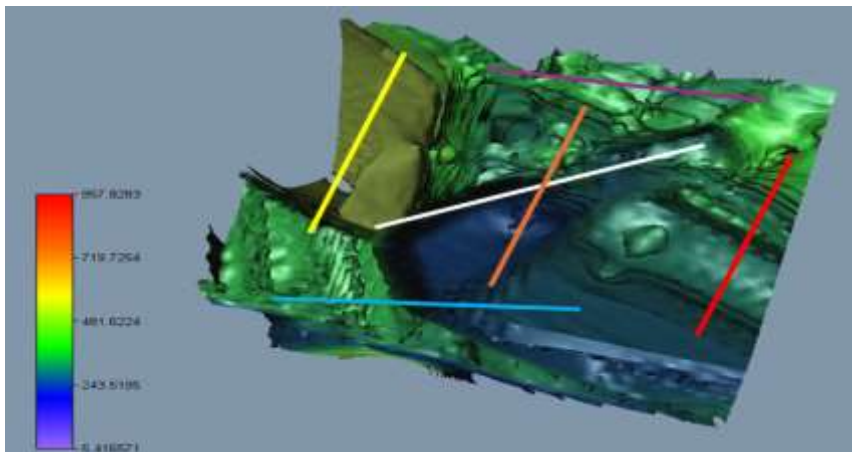
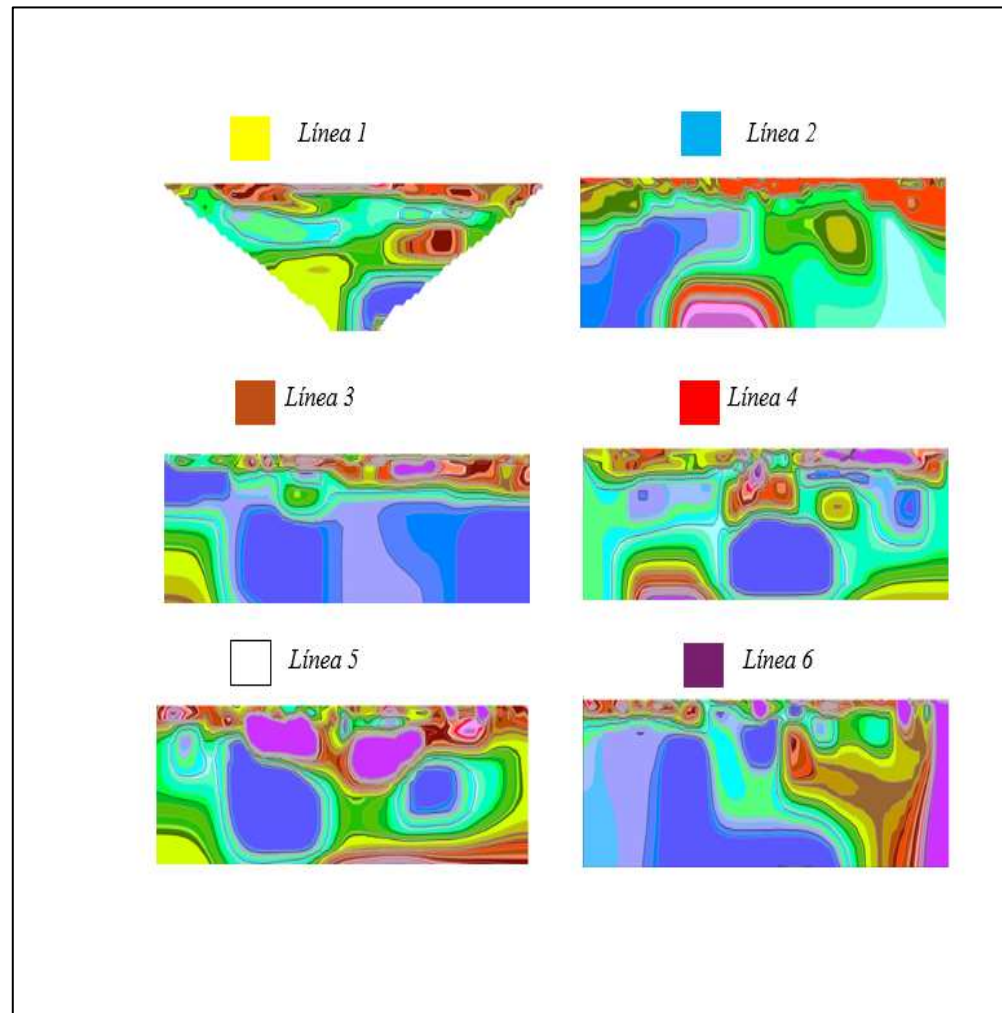
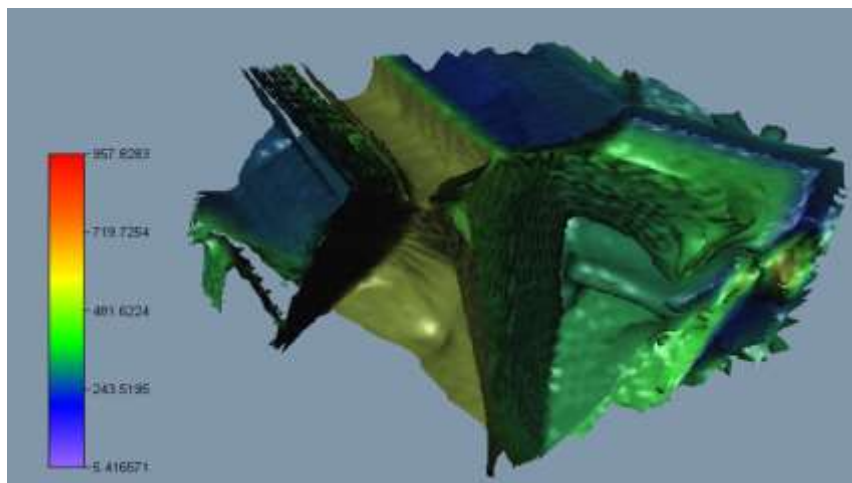


Figura 19. Modelo estratigráfico en 3D.



## 5.2. Análisis del nivel piezométrico en las cercanías de la UNACH

Los pozos de agua subterránea que se usaron para el análisis piezométrico se encuentran ubicados en el cantón Riobamba (Tabla 2), específicamente dentro de su zona urbana. Estos pozos principalmente son utilizados para el consumo de la población

**Tabla 2.** Ubicación de los pozos perforados por EMAPAR y por el CPCH.

Código	Perforación	Pozo	Ubicación		Altitud (msnm)	Nivel	Nivel
			X	Y		estático (m)	Piezométrico (msnm)
CP-1	CPCH	UNACH	762211	9816984	2791	64	2727
EP-02	EMAPAR	San Gabriel	761383.55	9817732.87	2800	67.3	2732
EP-03	EMAPAR	Maldonado	761690	9816846	2786	62.25	2723
CP-02	CPCH	Liribamba	756684	9817300	2871	87.26	2784
CP-03	CPCH	San Martin de Veranillo	764099	9816445	2762	44.06	2718
CP-04	CPCH	Licán	754270	9816744	2920	57.59	2862
CP-05	CPCH	San Francisco	754546	9819120	3037	111.45	2926
CP-06	CPCH	Cumandá	763133	9817174	2760	34.19	2725
CP-07	CPCH	Brigada Galápagos	763133	9817174	2760	58.48	2701
CP-08	CPCH	Chisnian	763861	9817674	2750	34.62	2715
CP-09	CPCH	El Carmen	758143	9819957	2909	140.13	2769
CP-10	CPCH	Gaushi	751947	9822061	3124	61.81	3062
CP-11	CPCH	Jatari	749914	9824907	3221	118	3103

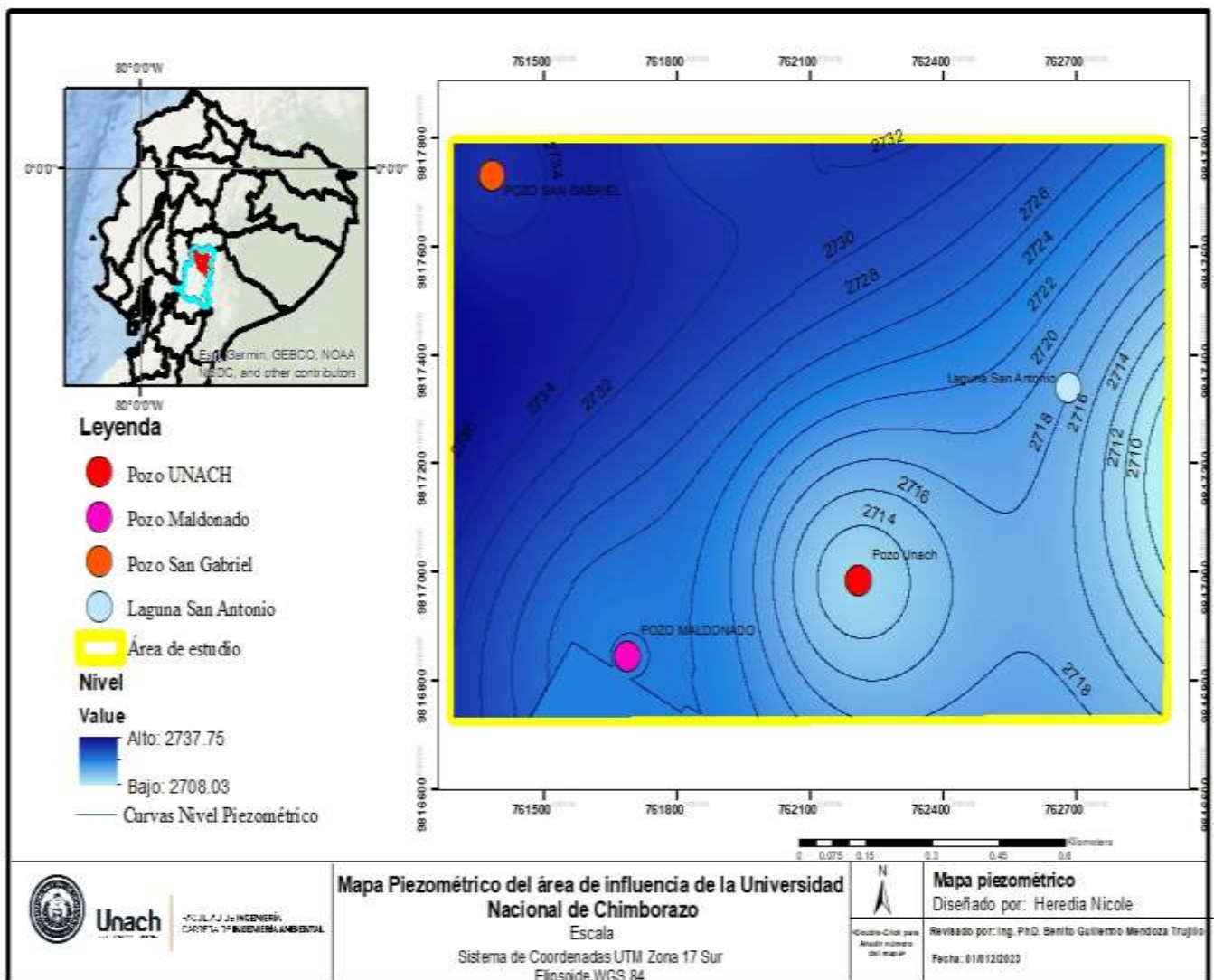
Campesino							
<b>CP-12</b>	CPCH	San Jose	760241	9819076	3315	95.07	3220
<b>CP-13</b>	CPCH	San Miguel- San Nicolas	760749	9818650	2846	76.28	2770
<b>CP-14</b>	CPCH	Santa Ana	757920	9819274	2880	49.53	2830
<b>CP-15</b>	CPCH	Santa Cruz	760519	9812818	2760	50.93	2709
<b>EP-04</b>	EMAPAR	21 de Abril	758996.27	9816758.62	2806	64.19	2742
<b>EP-05</b>	EMAPAR	Los Ángeles	762900	9816787	2760	0	2760
<b>EP-06</b>	EMAPAR	Las Abras	761883.7	9817886.71	2794	65.12	2729
<b>EP-07</b>	EMAPAR	Pozo 1 de Llio	754480.44	9827340.89	3120	11.49	3108.51
<b>EP-08</b>	EMAPAR	Pozo 2 de Llio	754383.91	9827227.39	3120	9.58	3110
<b>EP-09</b>	EMAPAR	Pozo 3 de Llio	754433.53	9827136.25	3120	6.3	3113
<b>EP-10</b>	EMAPAR	Pozo 4 de Llio	754392.75	9826906.15	3120	4.54	3115
<b>EP-11</b>	EMAPAR	Pozo 5 de Llio	754373.76	9827216.42	3120	0	3120
<b>EP-11</b>	EMAPAR	Pozo 6 de Llio	754394.45	9827004.04	3120	54.96	3065
<b>EP-12</b>	EMAPAR	Pozo 7 de Llio	754482.74	9827027.37	3120	7.51	3112
<b>EP-13</b>	EMAPAR	Huerta	758511.29	9815987.36	2804	61	2743

<b>EP-14</b>	EMAPAR	Servidores	759025.64	9816464.76	2800	49.8	2751
		Yaruquies /					
<b>EP-15</b>	EMAPAR	El Estadio	759077.05	9813566.88	2775	60	2715
<b>EP-16</b>	EMAPAR	24 de mayo	757622.71	9817879.9	2847	81	2766
<b>EP-17</b>	EMAPAR	Las Hierbas	760278.53	9817425.32	2809	86.5	2722
		José					
<b>EP-18</b>	EMAPAR	Lazcano	763168	9815675	2760	46.68	2713
<b>EP-19</b>	EMAPAR	Piscin	764074	9815075	2760	41.07	2718
<b>EP-20</b>	EMAPAR	Pedegral	759083.93	9813568.87	2775	58	2717

*Nota.* Fuente:(Guamán & Ortiz, 2024).

En este contexto en la (figura 20) se muestra el nivel piezométrico espacialmente distribuido, resultante del método IDW, en este se puede notar que el agua subterránea se mueve desde el sector Noroeste hacia el Sureste, con una preferencia de movimiento de agua hacia el sector de la laguna San Antonio donde se puede considerar esta un punto de control ya que el agua que alimenta esta laguna es netamente subterránea, porque no presenta escorrentía superficial que alimente este lecho acuático. El nivel encontrado en el sector de la UNACH va desde 2725 hasta los 2714 m.s.n.m, es decir, que el agua subterránea está a unos 65 m de profundidad respecto a la superficie del campus Edison Riera.

Figura 20. Mapa Piezométrico del área de influencia de la UNACH.



### 5.3. Análisis de la Conductividad Hidráulica en el área de la UNACH

La conductividad hidráulica es un parámetro fundamental para determinar cómo se mueve el agua en el subsuelo, en este sentido el área que está debajo del campus Edison Riera tiene una conductividad hidráulica de 0,31 m/d, es decir que una partícula de agua se tarda 1 día completo para moverse 31 m, esto se debe a la estratigrafía anteriormente descrita, y destacar que esta conductividad está medida a partir del nivel dinámico del pozo, es decir 72 m de profundidad respecto a la superficie del campus. En este sentido en la (Tabla 3) se muestran

los valores de la conductividad hidráulica del pozo de la UNACH y los pozos aledaños que sirven para este análisis. Además, en la (tabla 4) se muestran las estratigrafías de cada pozo.

**Tabla 3.** Resultado de conductividad hidráulica obtenidos de las pruebas de bombeo, al momento de mantenimiento del pozo, realizado por el CPCH y EMAPAR.

Código	Perforación	Pozo	Abatimiento (m)	Nivel	Nivel	Caudal (l/s)	Tiempo de bombeo (hrs)	Conductividad	
				estático (m)	dinámico (m)			m/d	m/s
CP-01	CPCH	UNACH H	7,51	64	71,51	14	1,58	0,3	3,53X10 <sup>-1</sup>
EP-02	EMAPA R	San Gabriel	18,5	67,3	85,8	13	5	0,1	1,94X10 <sup>-7</sup>
EP-03	EMAPA R	Maldonado	10,15	62,25	72,40	13,84	5	0,0	8,53X10 <sup>-7</sup>

Nota. Fuente:(Guamán & Ortiz, 2024).

**Tabla 4.** Estratigrafía obtenida del pozo de agua subterránea UNACH y Maldonado.

Código	Pozo	Conductividad		Profundidad (m)	Estratigrafía
		m/d	m/s		
CP-01	UNACH	0,31	3,53x10 <sup>-6</sup>	0-60	Grava, gravilla, pequeño porcentaje de arena gruesa matriz arcillosa café pardusca.  Arena variada predominando la mediana,

				60-80	Grava y gravilla de aristas angulosas y redondeadas, poco contenido de arena gruesa, matriz arcillosa café pardusca.
				80-100	Arcilla café pardusca con pequeño porcentaje de gravillas y arenas.
				100-130	Arena gruesa y mediana con pequeño porcentaje de gravilla, matriz arcillosa café pardusca.  Arcilla café pardusca con pequeño porcentaje de gravilla y arena.
				130-150	Material triturado, arena variada predominando la gruesa, pequeño porcentaje de gravilla, matriz arcillosa café pardusca
				150-172	Material triturado, arena variada predominando la mediana, poca gravilla, pequeño porcentaje de arcilla café pardusca.
<b>EP-03</b>	Maldonado	0,19	$2,25 \times 10^{-6}$	0-60	Limo arenoso de color marrón oscuro amarillento con líticos anguloso y subangulosos de roca volcánica. arena ligeramente limosa de color marrón oscuro de grano fino, con líticos anguloso y

---

	subangulosos de roca volcánica, presencia de pequeños bloques.
60-80	Arena limosa de color rojo oscuro, con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, grava y arena de grano fino a medio.
80-100	Arena de grano fino de color marrón oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, grava y arena de grano fino a medio.
100-130	Arcilla arenosa, color marrón amarillento Con líticos angulosos, subangulosos y subredondeados de roca volcánica, arena de grano fino
130-150	Arena de grano fino a medio, de color marrón claro, líticos subangulosos y angulosas de origen volcánico, presencia de bloques.
150-172	Arena limosa grano fino a medio de color marrón claro, con líticos angulosos, subgulosos y

---



---

subredondeados de roca volcánica, presencia de material triturado.

---

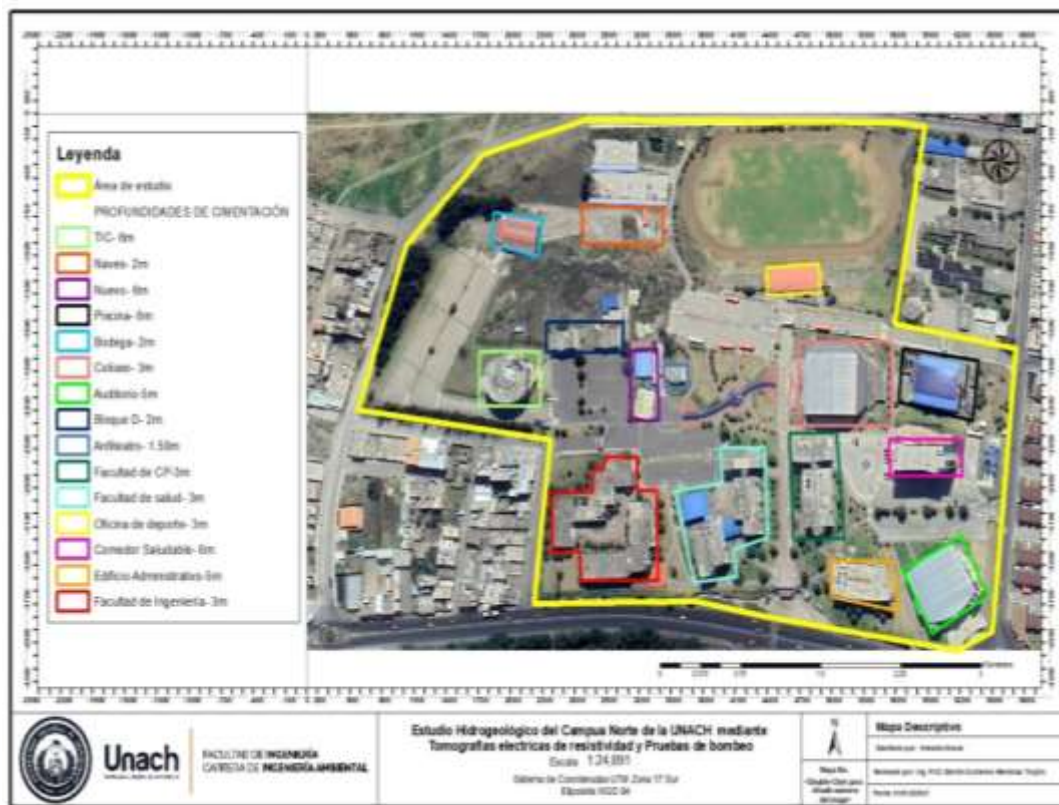
*Nota.* Fuente: (Guamán & Ortiz, 2024).

Debido a falta de documentación y registros de estudios de perforación de los pozos de agua subterránea, no se tiene el registro de la estratigrafía del pozo EP-02.

#### **5.4. Profundidades de cimentación de los edificios del Campus Norte de la UNACH.**

En la (Figura 21) muestra las profundidades de cimentación de los diferentes edificios de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Para recopilar esta información, se realizó una visita al Departamento de Infraestructura de la universidad, donde se consultó al ingeniero Óscar Paredes sobre las características y profundidades de cimentación de cada uno de los edificios.

**Figura 21.** Mapa descriptivo de las profundidades de cimentación de la UNACH.

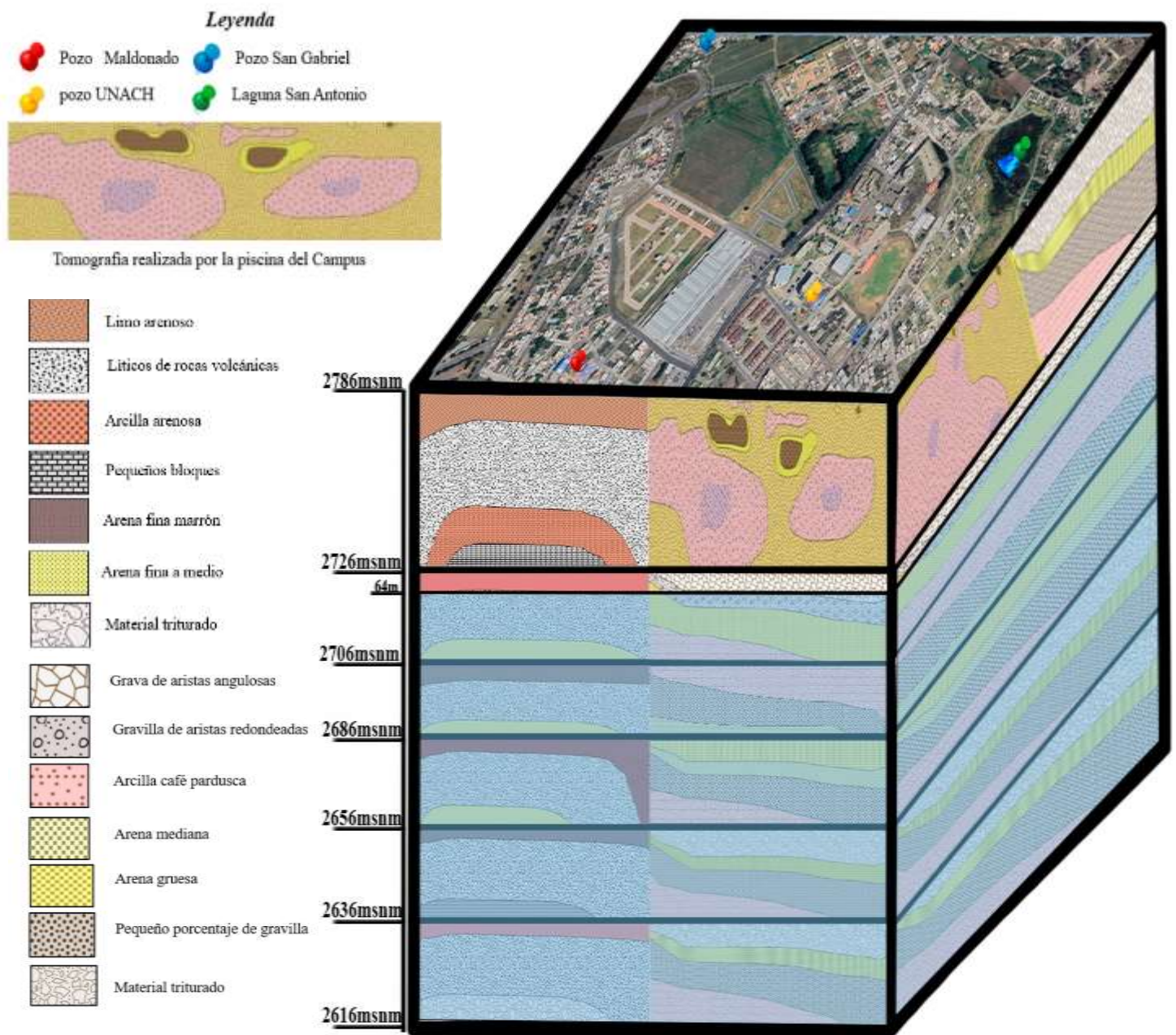


### 5.5. Modelo hidrogeológico para determinar el comportamiento del agua subterránea en el Campus Norte de la UNACH.

Para determinar el modelo hidrogeológico que muestre el comportamiento del agua subterránea en el campus norte, utilizamos toda la información obtenida en los procesos anteriormente descritos en el documento, para esto se utiliza la ortofoto que muestra la parte superficial del campus, además la estratigrafía se desarrolló a partir del modelo 2D y 3D de las tomografías eléctricas de resistividad realizadas en el campus, para complementar la estratigrafía se utilizó los datos de los mantenimientos y perforaciones así logrando llegar a las zonas de la cuenca sedimentaria y obteniendo el espesor aproximado del acuífero y de igual manera la diferencia de cota entre la superficie y el nivel piezométrico del acuífero. En este contexto, en la figura 22 se muestra como el agua subterránea se encuentra a 2714 m.s.n.m., es decir a una profundidad de 64 a 65 m respecto a la superficie, es decir el acuífero no está en

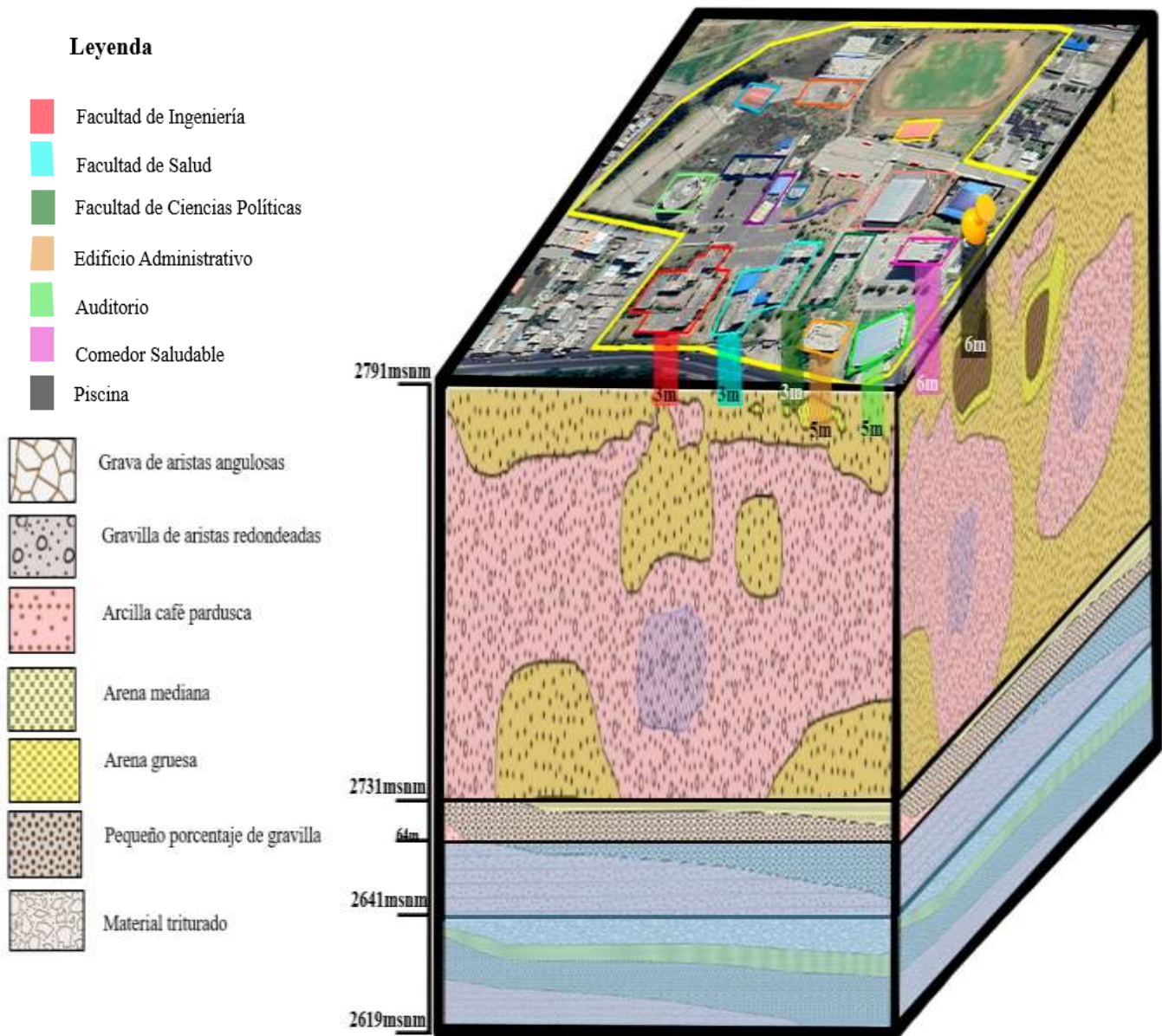
contacto con la superficie. Además, se muestra que el espesor del acuífero es de 80 m lo que permite el abastecimiento del pozo de la UNACH, con un régimen de producción de 14 l/s, esta producción se debe a que la estratigrafía en la parte del acuífero muestra gravas, arenas por donde su porosidad permite almacenar y conducir agua.

**Figura 22.** Modelo matemático para determinar el comportamiento de agua subterránea.



Por otra parte de acuerdo con los datos entregados por el departamento de infraestructura de la UNACH, la máxima profundidad de cimentación de los edificios del campus van desde los 2 a 6 m de profundidad, esto se muestra en la (figura 23), el esquema y la disposición de cada uno de los edificios, evidenciando que no existe contacto directo con el nivel piezométrico del acuífero.

**Figura 23.** Modelo matemático para determinar el comportamiento de agua subterránea en el campus Norte de la UNACH.



## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

Las tomografías eléctricas de resistividad permitieron analizar con precisión la estratigrafía del subsuelo hasta una profundidad de 60 m, siendo importante este trabajo ya que de acuerdo con los resultados obtenidos no se evidenció presencia de agua subterránea hasta el nivel en el que se obtienen los datos de resistividad eléctrica. Además, esta interpretación de la estratigrafía se concretó de mejor manera ya que se contó con los datos de la estratigrafía del pozo de la UNACH, cuyos datos ratifican que el agua subterránea se encuentra a una profundidad de 64 m respecto a la superficie.

El modelo hidrogeológico conceptual propuesto a partir de los datos de niveles piezométricos, estratigrafía, topografía y conductividad hidráulica en la zona de estudio muestra que no existe contacto de las cimentaciones de los edificios del campus con el agua subterránea, ya que la profundidad máxima encontrada fue de 6 m respecto a la profundidad del agua subterránea de 64 m, existiendo una diferencia de 58 m entre ambos puntos, además de acuerdo con la conductividad hidráulica se necesita 1 día para que se mueva 0,31 m el agua, por lo que la precipitación que se da en la zona no es capaz de infiltrarse en esta área transformándose en humedad a máximo 1 m de profundidad y el resto escorrentía superficial, además que el campus en su mayoría tiene una capa impermeable por las construcciones y vías que se encuentran aledañas a este.

## **6.2. Recomendaciones**

Para mejorar la apreciación de este tipo de trabajos es necesario contar con una red de piezómetros de monitoreo continuo para de esta manera verificar como varía el nivel del agua subterránea, siendo que la ciudad de Riobamba y el campus se sustentan principalmente de este recurso hídrico.

También, es importante realizar un mapa estratigráfico del acuífero a mayor profundidad mediante métodos como la tomografía eléctrica que permita determinar zonas donde el acuífero puede estar surgiendo y causar problemas constructivos en los edificios de la ciudad.

Además, es necesario que cuando se realice el estudio de suelo se lo haga en corroboración con estudios hidrogeológicos para que las cimentaciones sean adecuadas de acuerdo con el tamaño de los edificios que se vayan a construir.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *INTRODUCCIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA DEL ECUADOR* (Issue 1).
- Butler, J. (2005). Water Science and Technology Library. *Hydrogeological Methods for Estimation of Spatial Variations in Hydraulic Conductivity. Hydrogeophysics., map C*, 25–64. <https://doi.org/10.1007/0-306-48065-4>
- Cadena, L. (2022). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR “LANGOS, SAN ANDRÉS”, MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD Autor: In *Braz Dent J.* (Vol. 33, Issue 1).
- Cárdenas, N. (2019). *Importancia de realizar un estudio de suelo.*  
<https://noticias.utpl.edu.ec/cual-es-la-importancia-de-realizar-un-estudio-de-suelo-para-construir>
- Carrasco, P. (2011). “*MEJORA DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE INNOVACIÓN Y EL USO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN ESPACIAL.*”
- Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico Lina. *Informacion Tecnologica*, 32(1), 47–56.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>
- Fernández, X., & Sánchez, D. (2017). *GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: LOS MODELOS HIDROGEOLOGÍCOS COMO HERRAMIENTA AUXILIAR.* 250–256.
- Guillermo, C., Behrends Kraemer, F., & Jairo Marquez Molina, J. J. (2018). Conductividad Hidráulica Saturada Determinada Por Distintos Procedimientos En Suelos Con Alta Humedad Inicial. *Argentina*), 36(2), 158–169.
- Fernández, X., & Sánchez, D. (2017). *GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: LOS MODELOS HIDROGEOLOGÍCOS COMO HERRAMIENTA AUXILIAR.* 250–256.
- Guamán, J., & Ortiz, F. (2024). *Estudio del acuífero del Chambo (EC) mediante interpretación geológica, geofísica y matemática.*  
[https://www.researchgate.net/publication/312191903\\_Estudio\\_del\\_acuifero\\_del\\_Chambo\\_EC\\_mediante\\_interpretacion\\_geologica\\_geofisica\\_y\\_matematica](https://www.researchgate.net/publication/312191903_Estudio_del_acuifero_del_Chambo_EC_mediante_interpretacion_geologica_geofisica_y_matematica)
- Hernán, E., & Prunes, E. (2022). *La importancia del agua subterránea.*  
<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-es-el-agua-subterranea-y-por-que-es-tan-importante>
- Valle, A., & Zaragoza, H. (2019). *La Recarga De Acuíferos. Análisis De Su Estimación De Acuerdo Con La Información Disponible, El Caso Del Acuífero Del Valle De San Juan Del Río, Querétaro.*
- Hernán, E., & Prunes, E. (2022). *La importancia del agua subterránea.*  
<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-es-el-agua-subterranea-y-por-que-es-tan-importante>

- Huerta, J. (2022). *OBTENCIÓN DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y TRANSMISIVIDAD MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE BOMBEO UTILIZANDO EL MÉTODO DE RATHOD Y RUSHTON.*
- Losinno, B., Sainato, C., Malleville, H., & Galindo, G. (2018). TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA APLICADA A LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS EN TAMBOS. *Asociación Argentina de La Ciencia Del Suelo*, 26(2), 141–152.
- Martínez Mónica. (2018). *Metodología Para El Análisis De Pruebas De Bombmeo Y Diseño De Sistemas De Pozo De Extracción.*
- Mayorga, M. (2020). MODELAMIENTO GEOFÍSICO TRIDIMENSIONAL DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LLIO, EP EMAPAR. In *file:///C:/Users/VERA/Downloads/ASKEP\_AGREGAT\_ANAK\_and\_REMAJA\_PRINT.docx* (Vol. 21, Issue 1).
- Mendoza, B., Tenelema, V., Gerra, S., & Jaramillo, C. (2018). *RECONSTRUCCIÓN ESTRATIGRÁFICA PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDROGEOLOGICO EN GUARUÑAGPAMBA-PUNÍN (EC)IDEA.* (Vol. 19, Issue 5).
- Morales, T. (2017). The karstic aquifers . Cases of the Basque Country. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 325–332.
- Proaño, J. (2018). *RECONSTRUCCIÓN ESTRATIGRÁFICA MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD DE UN HUMEDAL ALTO-ANDINO EN EL CANTÓN CHAMBO.*
- Remache, P. (2017). Estudio hidrogeológico del sector de San Andrés mediante tomografías eléctricas de resistividad. In *Ucv.*
- Sánchez, A., Pacheco, T., Ávila, Julia., González, H., & Carrillo, B. (2015). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México. In *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas* (Vol. 32, Issue 1).
- Sánchez, V. (2023). *Estudio Hidrogeológico Del Sector “Caliata” Mediante Tomografías Eléctricas De Resistividad.*
- Theis, C. V. (1952). Metric Surface and the Rate and Duration of Discharg of a Well Using Ground Water Storage. *BETWEEN THE LOWERING OF THE PIEZOMETRIC SURFACE AND THE RATE AND DURATION OF DISCHARGE OF A WELL USING GROUND WATER STORAGE.*, 88(5), 16–18.
- Valle, A., & Zaragoza, H. (2019). *La Recarga De Acuíferos. Análisis De Su Estimación De Acuerdo Con La Información Disponible, El Caso Del Acuífero Del Valle De San Juan Del Río, Querétaro.*
- Zúñiga, R. (2011). Detección de zonas de riesgo a lo largo del colector de drenaje poniente de la ciudad de Guatemala. *Informe Instituto de Geofísica, UNAM.*, 102.



## 8. ANEXOS

*Tabla 5. Coordenadas Primera Línea.*

N°	X	Y	Z
1	762420.4135	9817147.85	2805
2	762424.8309	9817142.77	2805
3	762429.8005	9817136.91	2806
4	762435.6535	9817130.55	2805
5	762442.1283	9817122.93	2803
6	762445.4855	9817117.94	2803
7	762447.385	9817113.92	2803
8	762448.9753	9817109.24	2800
9	762450.2563	9817104.38	2800
10	762451.6411	9817099.46	2800
11	762452.2	9817091.48	2797
12	762451.7141	9817086.75	2797
13	762451.184	9817082.16	2795
14	762450.1238	9817077.43	2795
15	762448.9311	9817073.01	2794
16	762447.5036	9817068.43	2794
17	762443.7627	9817060.95	2794
18	762442.0841	9817056.71	2794
19	762440.8914	9817052.34	2794
20	762439.257	9817048.1	2795
21	762437.4459	9817043.81	2795
22	762436.5685	9817039.17	2795
23	762435.8114	9817034.18	2796
24	762434.3537	9817029.9	2796
25	762433.2935	9817025.53	2796
26	762432.0566	9817021.29	2797

27	762430.113	9817016.56	2797
28	762428.2135	9817012.32	2797
29	762426.5201	9817008.14	2799
30	762423.9348	9817001.97	2799
31	762420.8806	9816996.15	2799
32	762418.4952	9816991.64	2799
33	762415.6906	9816987.4	2799
34	762414.1862	9816985.36	2800
35	762409.0831	9816980.36	2800
36	762406.3853	9816977.86	2800
37	762403.5349	9816975.67	2800
38	762400.7531	9816973.76	2801
39	762397.8783	9816971.58	2801
40	762395.9558	9816970.46	2801
41	762391.6199	9816969.23	2801
42	762387.9647	9816968.96	2802
43	762384.7598	9816968.87	2802
44	762381.5977	9816968.83	2802
45	762376.9463	9816969.1	2804
46	762372.1424	9816969.63	2804
47	762364.7543	9816970.45	2805
48	762356.9023	9816972.38	2805
49	762354.0133	9816973.44	2806

**Tabla 6.** *Coordenadas Segunda Línea.*

N°	X	Y	Z
1	762279	9817239	2657
2	762284	9817241	2657
3	762288	9817243	2658
4	762293	9817245	2661
5	762299	9817248	2663
6	762305	9817250	2664
7	762310	9817253	2666
8	762315	9817255	2667
9	762319	9817257	2669
10	762323	9817259	2671
11	762328	9817261	2673
12	762334	9817263	2676
13	762338	9817265	2677
14	762342	9817267	2678
15	762346	9817269	2680
16	762351	9817271	2681
17	762356	9817273	2682
18	762359	9817274	2682
19	762363	9817276	2684
20	762366	9817278	2685
21	762370	9817279	2686
22	762374	9817281	2687
23	762378	9817283	2688
24	762382	9817284	2691
25	762385	9817286	2691
26	762388	9817287	2692
27	762391	9817288	2694
28	762395	9817290	2697

29	762398	9817292	2699
30	762402	9817293	2701
31	762406	9817295	2705
32	762410	9817297	2710
33	762413	9817298	2714
34	762417	9817300	2716
35	762422	9817302	2720
36	762427	9817304	2722
37	762431	9817306	2726
38	762436	9817308	2729
39	762441	9817311	2730
40	762445	9817312	2731
41	762450	9817315	2732
42	762454	9817316	2733
43	762457	9817318	2734
44	762461	9817320	2736
45	762466	9817321	2739
46	762471	9817324	2740
47	762476	9817326	2743
48	762481	9817328	2744
49	762487	9817331	2748

**Tabla 7. Coordenadas Tercera Línea.**

N°	X	Y	Z
1	762288	9817232	2614
2	762285	9817225	2710
3	762283	9817218	2755
4	762281	9817214	2778
5	762279	9817209	2785
6	762278	9817204	2792
7	762276	9817200	2792
8	762274	9817194	2792
9	762271	9817187	2792
10	762269	9817181	2792
11	762267	9817177	2792
12	762265	9817172	2792
13	762264	9817167	2792
14	762262	9817162	2792
15	762259	9817155	2792
16	762257	9817149	2792
17	762255	9817144	2792
18	762253	9817139	2792
19	762251	9817133	2793
20	762248	9817126	2793
21	762247	9817122	2793
22	762245	9817119	2793
23	762244	9817116	2793
24	762243	9817113	2793
25	762242	9817110	2794
26	762241	9817107	2793
27	762240	9817105	2794

28	762239	9817101	2794
29	762237	9817096	2794
30	762235	9817092	2795
31	762233	9817087	2795
32	762232	9817082	2795
33	762230	9817078	2795
34	762228	9817072	2795
35	762226	9817067	2795
36	762224	9817063	2795
37	762223	9817059	2795
38	762222	9817056	2796
39	762221	9817054	2796
40	762219	9817050	2796
41	762218	9817046	2797
42	762216	9817042	2796
43	762215	9817037	2796
44	762213	9817032	2796
45	762211	9817027	2795
46	762209	9817022	2795
47	762207	9817018	2795
48	762206	9817013	2794
49	762204	9817008	2794

**Tabla 8. Coordenadas Cuarta Línea.**

N°	X	Y	Z
1	762206	9817267	2795
2	762203	9817261	2796
3	762202	9817257	2795
4	762200	9817252	2795
5	762197	9817245	2795
6	762194	9817239	2795
7	762192	9817233	2795
8	762189	9817227	2795
9	762187	9817222	2795
10	762185	9817218	2796
11	762184	9817214	2795
12	762182	9817209	2795
13	762180	9817205	2795
14	762178	9817201	2796
15	762176	9817197	2795
16	762175	9817193	2796
17	762173	9817189	2796
18	762171	9817184	2795
19	762169	9817179	2795
20	762167	9817174	2796
21	762165	9817171	2795
22	762164	9817167	2795
23	762162	9817164	2795
24	762161	9817161	2795
25	762159	9817157	2795
26	762157	9817153	2795
27	762154	9817150	2795
28	762152	9817146	2796

29	762150	9817144	2795
30	762147	9817140	2795
31	762145	9817137	2796
32	762141	9817132	2796
33	762138	9817127	2797
34	762134	9817122	2796
35	762131	9817118	2797
36	762129	9817114	2797
37	762126	9817110	2796
38	762124	9817106	2796
39	762121	9817103	2796
40	762117	9817097	2796
41	762114	9817093	2796
42	762111	9817088	2796
43	762108	9817085	2796
44	762105	9817080	2796
45	762102	9817076	2796
46	762099	9817072	2796
47	762097	9817069	2796
48	762094	9817065	2796
49	762091	9817060	2795



**Tabla 9.** *Coordenadas Quinta Línea.*

N°	X	Y	Z
1	762153	9817125	2802
2	762157	9817126	2802
3	762161	9817127	2802
4	762165	9817127	2802
5	762170	9817128	2803
6	762175	9817129	2803
7	762180	9817130	2802
8	762185	9817130	2802
9	762189	9817131	2803
10	762194	9817132	2803
11	762198	9817133	2803
12	762202	9817133	2803
13	762205	9817134	2803
14	762208	9817134	2804
15	762212	9817135	2804
16	762217	9817136	2803
17	762222	9817137	2804
18	762226	9817137	2803
19	762232	9817138	2803
20	762240	9817139	2804
21	762245	9817140	2805
22	762250	9817141	2803
23	762255	9817142	2803
24	762260	9817143	2803
25	762263	9817143	2803
26	762267	9817144	2803
27	762271	9817145	2803

28	762275	9817145	2803
29	762280	9817146	2802
30	762286	9817147	2802
31	762292	9817148	2802
32	762296	9817149	2803
33	762301	9817150	2803
34	762307	9817151	2802
35	762311	9817151	2802
36	762315	9817152	2802
37	762320	9817153	2802
38	762325	9817154	2802
39	762329	9817154	2802
40	762334	9817155	2802
41	762340	9817156	2802
42	762346	9817157	2801
43	762351	9817158	2802
44	762355	9817159	2802
45	762360	9817159	2802
46	762365	9817160	2802
47	762370	9817161	2802
48	762374	9817162	2803
49	762378	9817162	2803

**Tabla 10.** *Coordenadas Sexta Línea.*

N°	X	Y	Z
1	762098	9817087	2669
2	762102	9817086	2671
3	762106	9817084	2673
4	762109	9817083	2674
5	762114	9817081	2676
6	762118	9817080	2678
7	762122	9817078	2679
8	762128	9817076	2679
9	762134	9817074	2693
10	762140	9817072	2695
11	762146	9817070	2697
12	762151	9817068	2697
13	762158	9817065	2697
14	762162	9817064	2699
15	762167	9817062	2700
16	762171	9817061	2701
17	762176	9817059	2704
18	762181	9817057	2705
19	762188	9817055	2706
20	762193	9817053	2707
21	762199	9817051	2709
22	762202	9817049	2713
23	762207	9817048	2713
24	762212	9817046	2714
25	762216	9817044	2715
26	762219	9817043	2717
27	762223	9817042	2717
28	762226	9817041	2718

29	762230	9817039	2718
30	762234	9817038	2719
31	762237	9817037	2720
32	762241	9817035	2721
33	762245	9817034	2721
34	762249	9817033	2722
35	762252	9817031	2723
36	762257	9817030	2724
37	762261	9817028	2727
38	762265	9817027	2729
39	762270	9817025	2730
40	762275	9817023	2730
41	762279	9817022	2731
42	762283	9817020	2733
43	762288	9817019	2733
44	762293	9817017	2731
45	762299	9817015	2732
46	762303	9817013	2732
47	762308	9817011	2732
48	762313	9817010	2733
49	762319	9817007	2734