



## **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

### **FACULTAD DE INGENIERIA**

#### **CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

Estudio de las características hidráulicas del acuífero del río Chambo usando  
pruebas de bombeo

#### **Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental**

#### **Autores:**

Guamán Caguana, Edwin Javier

Ortiz Salazar, Francisco Alejandro

#### **Tutor:**

PhD Benito Guillermo Mendoza Trujillo

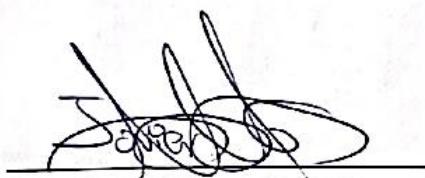
**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros Edwin Javier Guamán Caguana y Ortiz Salazar Francisco Alejandro, con cédula de ciudadanía 0605299882 y 0605083906, autores del trabajo de investigación titulado: Estudio de las características hidráulicas del acuífero del río Chambo usando pruebas de bombeo, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra 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 cessionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 04 de diciembre de 2023.



Guamán Caguana Edwin Javier

C.I: 0605299882



Ortiz Salazar Francisco Alejandro

C.I: 0605083906

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento  
  
SGC  
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
UNACH-RGF-01-04-08.11  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

### ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 20 días del mes de Julio de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante EDWIN JAVIER GUAMÁN CAGUANA con CC: 0605299882, 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 de las características hidráulicas del acuífero del río Chambo usando pruebas de bombeo", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.

  
PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo  
TUTOR(A)



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento

SGC

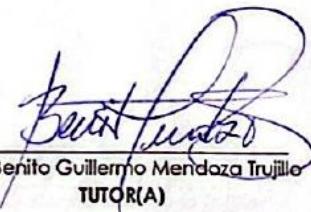
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

UNACH-RGF-01-04-08.11

VERSIÓN 01: 06-09-2021

## ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 20 días del mes de julio de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante FRANCISCO ALEJANDRO ORTIZ SALAZAR con CC: 0605083906, 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 de las características hidráulicas del acuífero del río Chambo usando pruebas de bombeo", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.

  
PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo  
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 de las características hidráulicas del acuífero del río Chambo usando pruebas de bombeo**, presentado por Edwin Javier Guamán Caguana y Ortiz Salazar Francisco Alejandro, con cédula de identidad número 0605299882 y 0605083906, 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 30 de julio de 2024

**Iván Ríos García, PhD.**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



**Marcel Paredes Herrera, Mgs.**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



**María Fernanda Rivera, Mgs.**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



## CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **Guamán Caguana Edwin Javier**, con CC: 0605299882, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Estudio de las características hidráulicas del acuífero del río Chambo usando pruebas de bombeo**", cumple con el 3%, de acuerdo con el reporte del sistema Anti-plagio TURNITIN, porcentaje aceptado de acuerdo con la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 22 de julio de 2024

Benito Mendoza T., Ph.D.  
TUTOR



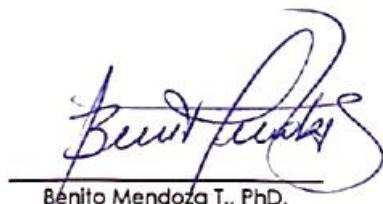
Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento  
 SGC  
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, Ortiz Salazar Francisco Alejandro, con CC: 0605083906 , estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "*Estudio de las características hidráulicas del acuífero del río Chambo usando pruebas de bombeo*", cumple con el 3%, de acuerdo con el reporte del sistema Anti-plagio TURNITIN, porcentaje aceptado de acuerdo con la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 22 de julio de 2024



Benito Mendoza T., PhD.  
TUTOR

## **DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico a mis padres Mercedes Caguana y Gonzalo Guamán, a mis hermanas Viviana Guamán, Cinthia Guamán, Ximena Guamán, a René Zúñiga y Francisco Cruz, y amigos y familiares quienes formaron parte y fueron un pilar fundamental dentro de este proceso.

Completar con éxito este proceso fue el resultado de un gran esfuerzo no solo de mi parte sino de su constante apoyo, y ahora se con certeza que la educación es la herencia más grande que tenemos.

*"La gratitud es la memoria del corazón."*

**Javier Guamán**

A mis queridos padres Víctor Ortiz y Raquel Salazar.

Para celebrar este logro, no solo el reconocimiento es mío, lleva el acompañamiento del amor y apoyo incondicional, siendo mis pilares más fuertes, me han brindado durante todo el transcurso de este camino , sus sabios consejos y eterno aliento, ayudándome a levantarme en los momentos más complejos de esta trayectoria, recordándome siempre que yo puedo lograr grandes cosas, si me lo propongo, que el punto clave del éxito es la perseverancia y no rendirme nunca, así sea lo más complicado de las situaciones, mostrándome que su amor es el poder más grande para poder realizar cualquier logro que me lo proponga , además la ayuda de todas las personas que contribuyeron de manera significativa a su realización de esta investigación . Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Benito Mendoza, nuestro tutor, por su guía y valiosa retroalimentación; al Ing. Carlos Maldonado, técnico de apoyo, por su invaluable colaboración; al Ing. Carlos Cisneros , por su continuo apoyo; al Ing. Luis Aucancela, por su asesoramiento técnico en agua subterránea; a EP-EMAPAR, , por su apoyo y apertura, así como a la compañía externa encargada del mantenimiento de los pozos y a los operadores de las bombas; y a los presidentes de las juntas de agua, Al CPCH por brindarnos apoyo y asesoría. Esta tesis es un reflejo de sus contribuciones y dedicación.

**Francisco Ortiz**

## **AGRADECIMIENTO**

En la fase final de un largo camino que he recorrido de la mano, compañía y apoyo contante e incondicional de mis padres Mercedes Caguana y Gonzalo Guamán, a mis hermanas Viviana Guamán, Cinthia Guamán, Ximena Guamán, de René Zúñiga y Francisco Cruz mi más profundo agradecimiento, este logro no es solo mío, porque sin su ayuda no habría podido lograrlo.

A mi tutor Benito Mendoza, le expreso mis más sinceros agradecimientos por el apoyo a lo largo de este proceso, por brindarme su guía constante y conocimientos. Al Ing. Carlos Maldonado por sus consejos y mentorías, a mis profesores quienes me brindaron su conocimiento y experiencia y a mis amigos agradezco su compañía en este reto.

Agradezco a los funcionarios de EP-EMAPAR y el CPCH por la apertura y ayuda para que la realización de este trabajo se haya dado de la mejor manera, a los presidentes de las juntas de agua quienes con la mejor voluntad nos dieron apertura.

***Javier Guamán***

En el cierre de este capítulo académico, es imposible no reflexionar sobre la red de apoyo, guía y estímulo que ha sido fundamental para alcanzar la meta de esta tesis. Expresar mi gratitud a mi abuelita, Irene Álvarez en compañía de mis padres, Ing. Víctor Ortiz, Ing. Raquel Salazar, por el apoyo y sacrificio que ha sido clave en el recorrido académico, siendo este logro mío como de ustedes.

A toda mi familia, en especial a mis tíos, Narcisa Salazar y Edgar Salazar, les expreso mis agradecimientos por el apoyo, su atención y los consejos que me ayudaron a salir adelante en los momentos más complejos de toda esta trayectoria, gracias por ser mi red de apoyo

A mi tutor Benito Mendoza, le expreso mis más sinceros agradecimientos por el apoyo a lo largo de este proceso, por brindarme su guía constante, los cuales me permitieron aprender de mis propios errores, su sabiduría y confianza han sido muy importantes para alcanzar un logro más en mi vida

A Carlos Maldonado, por siempre estar pendiente, en la construcción de esta tesis, agradeciéndole por el apoyo brindado, por darme su amistad en compañía de sus valiosos consejos.

***Francisco Ortiz***

## INDICE

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	15
1.1. Antecedentes .....	15
1.2. Planteamiento del Problema.....	16
1.3. Justificación.....	17
1.4. Objetivos .....	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos .....	18
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Agua Superficial y Agua Subterránea .....	19
2.2. Acuíferos .....	19
2.3. Clasificación de los acuíferos .....	19
2.4. Conductividad Hidráulica.....	19
2.5 Problemáticas Relacionadas con la Mala Gestión de los Acuíferos.....	20
2.6. Métodos para la Determinación de la Conductividad Hidráulica .....	21
2.7. Estratigrafía .....	21
2.8. Análisis Geoespacial.....	21
CAPÍTULO III. METODOLOGIA .....	23
3.1. Ubicación del Área de Estudio .....	23
3.2. Determinación de la Conductividad Hidráulica Mediante Pruebas de Bombeo .....	24
3.3. Análisis Espacial de la Conductividad Hidráulica del Acuífero del Chambo.....	26
3.4. Tipo de Investigación .....	26
3.5. Enfoque de Investigación .....	26

3.6. Diseño de Investigación .....	26
3.7. Técnicas de Recolección de Datos .....	27
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1. Análisis de la ubicación de los pozos de agua subterránea .....	28
4.2. Análisis de la Conductividad Hidráulica Calculada a partir de los Datos de Mantenimiento de los Pozos Perforados por el CPCH.....	31
4.3. Análisis de la Conductividad Hidráulica Calculada a partir de los Datos de Mantenimiento de los Pozos Perforados por EMAPAR. ....	34
4.4. Análisis Comparativo entre la Conductividad Hidráulica y el Abatimiento Obtenidos de las Pruebas de Bombeo y Procesos de Mantenimiento y Perforación por Parte de EMPAR y el CPCH.....	37
4.5. Análisis de la Conductividad Hidráulica y la Estratigrafía de los Pozos de Agua Subterránea.....	40
4.6. Análisis de la Distribución Espacial de la Conductividad Hidráulica en el Acuífero del Chambo.....	43
4.7. Análisis Comparativo de la Conductividad Hidráulica Obtenida por otros Autores ...	44
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
5.1. Conclusiones.....	46
5.2. Recomendaciones .....	46
BIBLIOGRAFÍA .....	48
ANEXOS.....	51
Anexo 1. Descripción estratigráfica de los pozos de agua subterránea perforados por el Consejo Provincial de Chimborazo. ....	51
Anexo 2. Descripción estratigráfica de los pozos de agua subterránea perforados por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba.....	58
Anexo 3. Comparativa entre la conductividad hidráulica obtenida de los mantenimientos de EMAPAR y el CPCH y las pruebas de bombeo realizadas.....	72
Anexo 4. Comparativa entre el Nivel Estático Obtenido en la Perforación de los Pozos de Agua Subterránea y Durante la Prueba de Bombeo. ....	72
Anexo 5. Parámetros Utilizados para el Cálculo de la Conductividad Hidráulica.....	72
Anexo 6. Gráficas de Error en la Aplicación del Método de Theis.....	73
Anexo 7. Evidencia Fotográfica .....	74
Anexo 8. Coordenadas de los pozos perforados por EMAPAR y el CPCH .....	75

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Mapa de ubicación del acuífero del Chambo y los pozos de extracción de agua subterránea de EMAPAR y el CPCH .....	23
Figura 2. Superposición de las gráficas de la curva tipo para acuífero confinado y pruebas de bombeo a caudal continuo .....	25
Figura 3. Distribución de pozos de agua subterránea perforados por EMAPAR en el sector de Llío.....	28
Figura 4. Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Calpi .....	29
Figura 5. Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Guano. ....	30
Figura 6. Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Riobamba .....	30
Figura 7. Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Flores. ....	31
Figura 8.Comparativa entre la conductividad hidráulica obtenida de los mantenimientos realizados por EMAPAR y CPCH con las pruebas realizadas por los autores .....	38
Figura 9. Comparativa entre el nivel estático obtenido en la puesta en marcha de los pozos de agua subterránea y el nivel estático obtenido durante la prueba de bombeo.....	39
Figura 10. Mapa de distribución de la conductividad hidráulica en el acuífero del río Chambo.....	43

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. División en intervalos de tiempo del escalón de la prueba de bombeo.....	24
Tabla 2. Resultados de conductividad hidráulica obtenidos de las pruebas de bombeo, al momento del mantenimiento de los pozos, realizadas por el CPCH.....	33
Tabla 3. Resultados de conductividad hidráulica obtenidos de las pruebas de bombeo, al momento del mantenimiento de los pozos, realizadas por EMAPAR. ....	36
Tabla 4. Pozos concesionados al CPCH que se encuentran fuera de funcionamiento. ....	39
Tabla 5. Comparativa entre la conductividad hidráulica obtenida para los pozos de agua subterránea con su estratigrafía. ....	40
Tabla 6. Comparativa de la conductividad hidráulica obtenida entre diferentes autores ....	44

## RESUMEN

El estudio se enfoca en el acuífero del río Chambo y áreas circundantes, incluyendo parroquias de varios cantones. La falta de datos sobre la conductividad hidráulica del acuífero obstaculiza la gestión eficiente del recurso, con riesgos de sobreexplotación y contaminación. El crecimiento poblacional ha exacerbado los problemas de abastecimiento de agua en el cantón Riobamba. Se plantea analizar la conductividad hidráulica de manera espacial en el acuífero del río Chambo, para lo que se llevarán a cabo pruebas de bombeo para evaluar la capacidad de recarga de pozos. Este estudio proporcionará información vital sobre la permeabilidad actual del acuífero, sirviendo como base para futuros proyectos y contribuyendo al desarrollo de un modelo de balance hídrico. La conductividad hidráulica se calculó mediante el método de Theis, que nos permite el cálculo de esta característica sin la necesidad de pozos de observación en acuíferos confinados y semiconfinados. Abordando aspectos socioeconómicos, al destacar la necesidad de un ordenamiento territorial para optimizar el uso racional del recurso hídrico, ya que por las características estratigráficas de las zonas en las que se perforaron los pozos, la conductividad hidráulica, hace que su explotación tenga que ser más eficiente y controlada.

**Palabras claves:** Acuífero, Conductividad, Theis, Estratigrafía

## ABSTRACT

The study focuses on the Chambo River aquifer and surrounding areas, including parishes from various cantons. The lack of data on the hydraulic conductivity of the aquifer hinders efficient resource management, with risks of overexploitation and contamination. Population growth has exacerbated water supply issues in the Riobamba canton. The study proposes to analyze the spatial hydraulic conductivity in the Chambo River aquifer and conduct pumping tests to assess well recharge capacity. This research will provide crucial information on the current permeability of the aquifer, serving as a basis for future projects and contributing to the development of a hydrological balance model. Hydraulic conductivity is calculated using the Theis method, allowing for estimation without observing wells in confined and semi-confined aquifers.

The study also addresses socioeconomic aspects by emphasizing the need for territorial planning to optimize the rational use of water and economic resources. Certain zones with low recovery capacity were observed, indicating the necessity for corrective measures.

**Keywords:** Aquifer, Conductivity, Theis, Stratigraphy



Reviewed by:

Mgs. Vanessa Palacios  
ENGLISH PROFESSOR  
C.C. 0603247487

## CAPÍTULO I. INTRODUCCION

El mundo se encuentra en una creciente crisis ambiental que aumenta la presión existente sobre los recursos naturales, el desarrollo de la sociedad humana y la necesidad de abastecer a la misma de agua potable, se estima que a nivel mundial el 60% de agua extraída destinada a consumo humano es de origen subterráneo. Así resulta primordial la búsqueda de medidas correctivas para mejorar su aprovechamiento (FAO, 2023).

Además, la alteración del ciclo hidrológico de las aguas subterráneas se debe principalmente a la sobreexplotación, mal uso y contaminación, cambiando los ciclos naturales de recarga y circulación de los acuíferos. Además, la contaminación de las aguas subterráneas altera sus características químicas normales, generando costes ambientales relacionados con el tratamiento y remediación del suelo y el agua (Grondona et al., 2022).

Por otra parte, en Ecuador el agua subterránea es un recurso vital, que es utilizado para la irrigación de cultivos, desarrollo económico, productivo, etc. Teniendo en cuenta la importancia que tiene este recurso para el país las entidades gubernamentales no han destinado los suficientes recursos, económicos y políticos, para dirigir de manera efectiva su estudio, gestión y protección (Castillo Herrera et al., 2019). En los últimos 20 años gran parte de la población no tiene acceso a este recurso, teniendo en cuenta que a nivel nacional 5000 pozos de agua subterránea han sido excavados y perforados para abastecer a provincias como Tulcán, Ambato, Riobamba, Guaranda, Milagro y Guano (INAMHI, 2014).

En este contexto, el cantón Riobamba cuenta con un sistema de pozos de agua subterránea que abastecen a su población, estos pozos están ubicados en San Pablo, Llio, San Andrés, en la zona rural, y en la zona urbana se encuentran los pozos 24 de mayo, huerta, las hierbas, San Gabriel, las abras, Maldonado, 21 de abril, Lascano y el Estadio (Procel Guerra, 2018). Estos pozos constan dentro de la concesión de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba. La producción de agua subterránea bordea los 600 l/s y se tiene un alto consumo de agua en el casco urbano, que va desde los 220 l/hab\*día hasta los 280 l/hab\*día, la mayor parte de caudal proviene de fuentes superficiales y en menor medida de subterráneas (Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR), 2020).

### 1.1.Antecedentes

La explotación intensiva del agua subterránea, junto con su contaminación y mal uso, ha alterado el ciclo natural de recarga de los acuíferos, afectando su capacidad de regeneración y generando importantes costos ambientales asociados a su tratamiento y remediación (FAO, 2023).

En Ecuador, el agua subterránea es un recurso esencial para la agricultura, la industria y el abastecimiento de agua potable. A pesar de su importancia, el país enfrenta limitaciones en la gestión y protección de sus recursos hídricos subterráneos debido a la falta de políticas y recursos suficientes destinados a su estudio y manejo efectivo (Castillo Herrera et al.,

2019). Actualmente, se han perforado más de 5000 pozos en todo el territorio ecuatoriano para abastecer a ciudades y provincias, incluyendo Riobamba, Guano y Ambato (INAMHI, 2014).

El acuífero del río Chambo es una fuente crucial de agua subterránea para el cantón Riobamba y sus alrededores. Sin embargo, el aumento poblacional y la intensificación de la actividad agrícola han ejercido una presión significativa sobre este recurso. La población de Riobamba ha crecido de 146,324 habitantes en 2010 a 225,741 en 2023, lo que ha aumentado la demanda de agua potable y generado desafíos en su abastecimiento (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba, 2020). La falta de estudios detallados sobre la conductividad hidráulica del acuífero del río Chambo limita la gestión adecuada del recurso hídrico, afectando su sostenibilidad a largo plazo.

En este contexto, el conocimiento preciso de la conductividad hidráulica del acuífero es esencial para evaluar la capacidad de recarga de los pozos subterráneos y planificar el uso sostenible del agua. Este estudio busca contribuir con datos actualizados que permitan mejorar la gestión de los recursos hídricos en la región, abordando problemas críticos como la escasez de agua y la contaminación de los acuíferos causada por la actividad agrícola intensiva.

Este trabajo se basa en pruebas de bombeo realizadas en pozos a caudal constante perforados por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR) y el Consejo Provincial de Chimborazo (CPCH), con el fin de evaluar la capacidad de recarga del acuífero y su conductividad hidráulica, lo que permitirá establecer una línea base para futuras investigaciones y la gestión sostenible del agua subterránea en el área de influencia del acuífero.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

Este trabajo se realizó dentro del área de influencia del acuífero del río Chambo, abarcando las parroquias urbanas y rurales pertenecientes al cantón Riobamba, Guano y Chambo, además de un pequeño porcentaje de territorio del cantón Colta y Penipe, dentro de estas locaciones se encuentran distribuidos los pozos de agua subterránea perforados por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR) y el Consejo Provincial de Chimborazo (CPCH).

El desconocer la oferta hídrica del acuífero del río Chambo, hace que el crecimiento poblacional no esté direccionado hacia un correcto desarrollo de los poblados, es así que, en la última década, el casco urbano del cantón Riobamba ha tenido un gran crecimiento, generando problemas de abastecimiento de agua de consumo para la creciente población, que se ha incrementado de 146.324 habitantes en 2010 a 225.741 habitantes en 2023, y en el caso del área rural se anexa el problema de contaminación de aguas subterráneas a causa de la agricultura intensiva (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba, 2020).

Para el año 2022 EMAPAR reportó un caudal promedio mensual de 715,81 l/s enviados a la red de abastecimiento de agua potable del casco urbano del cantón Riobamba además de los 32,40 l/s mensuales que son entregados al cantón Guano, teniendo una producción media mensual para ese año de 748,21 l/s de agua de origen subterráneo (EMAPAR, 2023). El proyecto trasvase de aguas superficiales Maguazo-Alao se espera que aporte a la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad con 500 l/s, esto luego de pasar por una PTAR ubicada en el sector de Molobog (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba, 2020).

La falta de estudios sobre la conductividad hidráulica del acuífero limita la gestión adecuada del recurso hídrico, cuya principal restricción es la extensión de los estudios. Además, la ausencia de control continuo sobre la disponibilidad de agua podría generar escasez agravada en el futuro, que junto a la falta y desactualización de infraestructura de abastecimiento adecuada agravarán los problemas ya existentes.

Para llegar a conocer la conductividad hidráulica del acuífero del río Chambo se realizaron pruebas de bombeo en los pozos perforados por EMAPAR y el CPCH. Esto dio a conocer la capacidad que tienen los pozos para recargarse y los posibles problemas asociados a una regeneración lenta.

### **1.3. Justificación**

El presente estudio permitirá conocer la permeabilidad hidráulica actual del acuífero del río Chambo, aportando información actualizada sobre el estado en el que se encuentra la capacidad de regeneración de cada uno de los pozos que abastecen a las parroquias urbanas y rurales del cantón Riobamba.

Este estudio servirá como base para futuros proyectos sobre la dinámica de las aguas subterráneas de este acuífero, aporta a la generación de un modelo de balance hídrico de aguas subterráneas y los resultados podrán ser utilizados como línea base en proyectos legislativos enfocados en el control del agua subterránea.

Abordando el tema socioeconómico, a medida que la población crece de igual manera lo hace la necesidad de abastecer de agua potable a la misma, esto implica el gasto de recursos económico, que al no estar dirigidos de manera técnica genera costes innecesarios para satisfacer esta creciente necesidad.

El desarrollo de este trabajo permite abordar un ordenamiento territorial objetivo y concreto, enfocado en disminuir una debilidad importante de muchos territorios, la cantidad y la forma en la que se encuentra distribuido el recurso hídrico, y a su vez ayudará en el mejoramiento del uso y gestión de suelo, al construir de manera estratégica pozos de agua subterránea que permitan el desarrollo de zonas de difícil acceso al agua, esto potencia las características del territorio mejorando la forma de gestión del recurso hídrico.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Analizar la conductividad hidráulica de manera espacial en el acuífero del río Chambo, mediante pruebas de bombeo.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características hidráulicas de los pozos ubicados en el acuífero.
- Evaluar las características de la conductividad hidráulica de manera espacial en el acuífero del río Chambo, mediante geoestadística.

## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Agua Superficial y Agua Subterránea

Las precipitaciones pueden presentarse en forma de lluvias y nieve, al momento de caer en el suelo, una parte de ella fluye sobre la superficie del terreno formando escorrentía superficial que luego forma ríos, lagos y va a parar al mar, la fracción restante del agua se infiltra o es absorbida por las plantas, en donde conjuntamente con los procesos de evaporación superficial y transpiración de las plantas devuelven una parte del agua a la atmósfera en forma de vapor, la porción restante se infiltra a mayor profundidad alcanzando los mantos acuíferos que cumplen la función de reservorios naturales (Sahuquillo Herráiz, 2009).

### 2.2. Acuíferos

Un acuífero es una formación geológica subterránea compuesta por rocas o sedimentos permeables, impermeables o semipermeables, capaces de almacenar y transportar agua subterránea. Básicamente se trata de una zona saturada, donde los espacios porosos o fracturas están llenos de agua, y una zona no saturada, también conocida como la zona de aireación, en la cual existe mayor cantidad de aire en los espacios porosos y una menor cantidad de agua retenida (Sánchez et al., 2016).

### 2.3. Clasificación de los acuíferos

Una de las formas de clasificación de los acuíferos se da por sus características hidrogeológicas, en este sentido se tiene lo siguiente.

**Acuífero Libre:** En este tipo de acuíferos el nivel freático se encuentra en la superficie o muy cercana a esta. Es así que el acceso al agua subterránea se da fácilmente al requerir de perforaciones superficiales (Valcarce Ortega et al., 2021).

**Acuífero confinado:** Debido a que en la estructura del suelo se encuentran capas impermeables, generalmente compuestas por arcilla, el agua contenida dentro del acuífero no tiene la capacidad de movilizarse. Dado que el agua contenida en este tipo de estructuras no tiene contacto directo con la atmósfera se encuentran bajo cierta presión por lo que, al momento de acceder a ellos, el agua tiene a salir despedida(Alfaro et al., 2006).

**Acuífero semiconfinado:** Es un tipo de acuífero que debido a la presencia de capas semipermeables el agua puede ser transportada hacia la superficie, con cierta dificultad gracias a la presencia de capas permeables que conforman la estructura estratigráfica del suelo (Alfaro et al., 2006).

### 2.4. Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica es aquella propiedad de un material que describe la capacidad de transportar o transmitir un líquido a través de su estructura. Es decir, describe la velocidad con la que se mueve el agua en medios porosos como el suelo, la arena o la roca (Castiglion et al., 2018).

La conductividad hidráulica de un medio poroso puede verse afectada por la porosidad del medio, el tamaño y la forma de los poros, así como la viscosidad del agua, la cual será modificada dependiendo su constitución química y física. Se tiene así que a mayor velocidad de flujo del agua mayor conductividad hidráulica y viceversa (Castiglion et al., 2018).

## 2.5 Problemáticas Relacionadas con la Mala Gestión de los Acuíferos

La mala gestión de los acuíferos puede dar lugar a diversas problemáticas y consecuencias negativas. A continuación, se presentan algunas de las principales problemáticas asociadas con una gestión inadecuada de los acuíferos (Sánchez et al., 2016).

**Sobreexplotación:** Este fenómeno se presenta al momento en que la tasa de extracción de agua supera a su tasa de recarga natural. Esto lleva a la disminución del nivel freático, provocando no solo la disminución del recurso en el acuífero sino también la disminución de la humedad en las capas superficiales del suelo, y posterior agotamiento del acuífero. Este problema principalmente se observa en acuíferos de tipo confinado(Bru, 2023).

**Hundimiento del terreno:** Cuando la extracción de agua subterránea no es tecnificada y sobrepasa la capacidad de regeneración del acuífero, ocurren colapsos en la estructura del acuífero, hundimientos del terreno, los cuales afectan a estructuras urbanas y rurales, dentro de las cuales están los sistemas de abastecimiento de agua potable (Carreon & Cabral, 2021).

**Intrusión de agua salina:** Al no existir la suficiente cantidad de agua dulce presente en el acuífero y el nivel freático sufre una gran disminución, el agua salada invade el acuífero lo que posteriormente genera problemas de salinización de los suelos afectando al abastecimiento de agua potable y agua para los sistemas agrícolas y ganaderos (Cuen et al., 2021).

**Contaminación del agua subterránea:** Si bien el suelo tiene una gran capacidad de retención, inmovilización y recuperación, debido a su degradación muchas sustancias químicas provenientes de actividades humanas, como la agricultura intensiva, la disposición inadecuada de residuos, los derrames de sustancias tóxicas, entre otros, llegan a infiltrar en las capas más profundas del suelo, contaminando progresivamente los mantos acuíferos (Diomandé, 2023).

**Impacto en los ecosistemas acuáticos:** La sobreexplotación de los acuíferos reduce el flujo de agua hacia determinados ecosistemas acuáticos dependientes de ellos, como ríos, humedales y lagos. Esta problemática sumada a otras puede llevar al colapso, pérdida o desequilibrio de hábitats y especies acuáticas (Diomandé, 2023).

**Escasez de agua:** Una gestión deficiente de los acuíferos puede resultar en la escasez de agua, especialmente en regiones en las cuales el agua superficial apta para consumo es muy escasa. La dificultad al acceso a agua de calidad puede resultar en una afectación directa a la soberanía alimentaria de una gran parte de la población (Rodella et al., 2023).

Las problemáticas descritas resaltan la importancia de una gestión correcta y articulada de los acuíferos, es decir, tiene que involucrar la monitorización periódica, regulación de su explotación, control de vertido de contaminantes directamente en el suelo y la implementación de prácticas de conservación que garanticen la disponibilidad a largo plazo de un recurso hídrico de calidad.

## 2.6. Métodos para la Determinación de la Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica puede calcularse a partir de diversas metodologías, la elección del método depende del tipo de material y las condiciones específicas del sitio.

**Pruebas de permeabilidad en campo:** Estas pruebas requieren de la perforación de un pozo en el sitio de estudio con el fin de medir la velocidad de flujo del agua. Esto se realiza mediante la instalación de dispositivos de medición de flujo, dispositivos de medición de descenso del nivel freático o mediante la inyección de agua en el pozo con el fin de medir la velocidad con la que el agua es drenada (Angelone et al., 2006).

**Pruebas de carga:** En este tipo de pruebas es necesario aplicar un cierto volumen conocido de agua a un material poroso, que luego será medido en un piezómetro cercano. A partir de los datos recopilados, se puede calcular la conductividad hidráulica (Castiglion et al., 2018).

**Pruebas de laboratorio:** Se utilizan muestras de suelo o material poroso tomadas del sitio para luego someterlas a pruebas de laboratorio para determinar la conductividad hidráulica de las muestras. Se pueden realizar ensayos en columnas de flujo, permeámetros o celdas de carga que permiten medir el flujo de agua a través de las muestras (Castillo Herrera et al., 2019).

La conductividad hidráulica calculada puede variar dependiendo el grado de saturación del material, los gradientes de presión y la disposición de las capas estratigráficas del terreno. Por lo tanto, es recomendable realizar pruebas en diferentes puntos del área a analizar.

## 2.7. Estratigrafía

Se trata del estudio y caracterización de la composición de los estratos, capas, que componen el suelo, describiendo sus características geológicas, edafológicas y morfológicas. Teniendo como fin, comprender la dinámica del almacenamiento y transporte del agua subterránea. (Benavides Guerrero et al., 2021).

## 2.8. Análisis Geoespacial

Este tipo de análisis abarca técnicas y herramientas geoespaciales que sirven para analizar la ubicación, extensión y características hidrogeológicas de los acuíferos. Esto incluye la interpretación de datos geológicos, hidrogeológicos y de monitoreo de agua subterránea, así como la generación de mapas temáticos y la modelización espacial (López, 2002).

La FAO propone un análisis que tiene como objetivo proporcionar información relevante para la planificación, gestión sostenible de los recursos hídricos subterráneos (DCPRH & FAO, 2016). Esto incluye la identificación de áreas propensas a la sobreexplotación, áreas con déficit de abastecimiento de agua subterránea, la calidad del agua subterránea, y el diseño de medidas de conservación como uso eficiente del agua (EMAPAR, 2020).

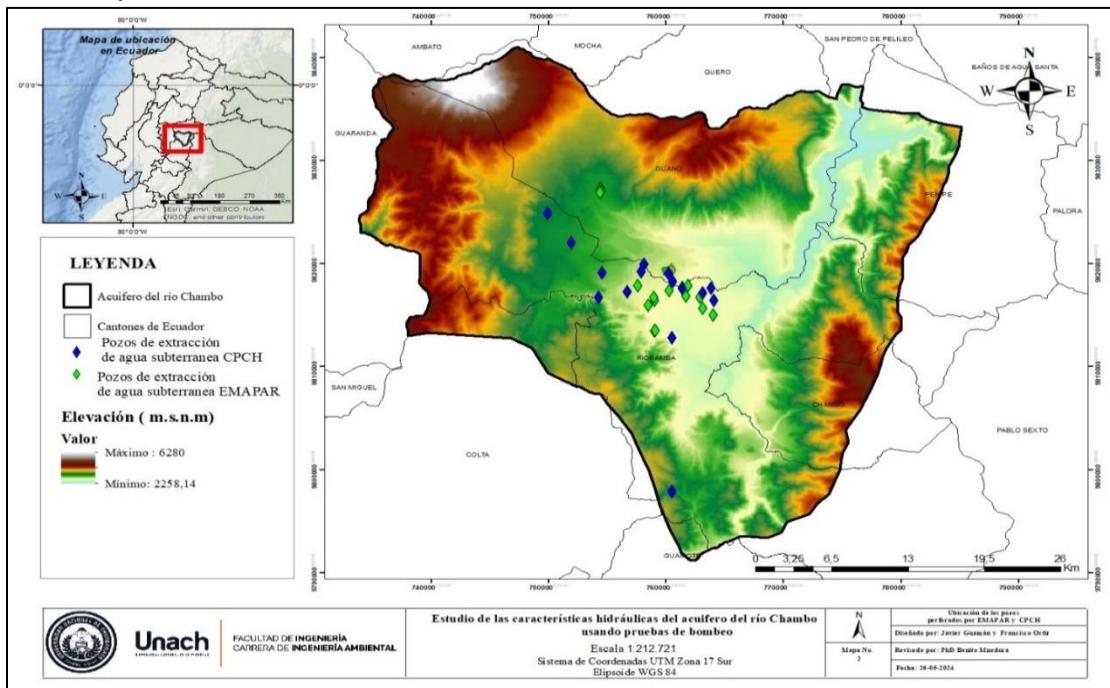
## CAPÍTULO III. METODOLOGIA

### 3.1. Ubicación del Área de Estudio

El acuífero del río Chambo se ubica en la zona norte de la provincia de Chimborazo, encontrándose dentro del cantón Riobamba y el cantón Guano. Este cuerpo de agua se alimenta de los deshielos del volcán Chimborazo y de los páramos aledaños. Tiene un desnivel altitudinal que va desde los 2258 m.s.n.m. hasta los 6280 m.s.n.m. aproximadamente. Tiene un área aproximada de 151,57 m<sup>2</sup>.

En la Figura 1 se muestra la distribución espacial de los pozos de agua subterránea perforados por el CPCH y EMAPAR en el acuífero del río Chambo, predominando la presencia de pozos en las zonas más bajas y cercanas a centros poblados y el casco urbano del cantón Riobamba.

**Figura 1.** Mapa de ubicación del acuífero del Chambo y los pozos de extracción de agua subterránea de EMAPAR y el CPCH.



**Fuente:** (EMAPAR, 2023), (CPCH, 2023).

Nota: Las ubicaciones están acorde a la última actualización del catastro de las dos instituciones.

Para el análisis de la estratigrafía de los pozos de agua subterránea presentes dentro del área de influencia del acuífero del río Chambo, primero, se realizó una exploración de los estudios estratigráficos resultantes de la perforación de los pozos. A través de estos estudios, se pudieron comprender la estructura y disposición de los estratos característicos de cada pozo, lo que proporcionó datos detallados sobre la composición y las características geológicas de los mismos.

En este análisis se consideró que la conductividad hidráulica obtenida hace referencia a una media del pozo en su totalidad y no en secciones o estratos distintos del mismo pozo.

El enfoque total facilitó la evaluación del acuífero en su conjunto para transmitir agua, ofreciendo una perspectiva global sobre su comportamiento hidráulico y su habilidad para cumplir con las demandas hídricas de la región.

A partir de esta información secundaria se determinó los pozos en los que se realizaron las pruebas de bombeo.

### **3.2. Determinación de la Conductividad Hidráulica Mediante Pruebas de Bombeo**

La prueba de bombeo es utilizada como método de evaluación de las características hidráulicas de un acuífero, principalmente la conductividad hidráulica. Esta valoración se la realiza en condiciones estables y controladas de bombeo (Martínez Mónica, 2018). Para estas pruebas se utilizó caudal de bombeo constante, verificando el nivel freático a medida que se extrae caudales constantes de agua en períodos de tiempo establecidos, estos períodos son más largos a medida que avanza la prueba, el tiempo total de la prueba de bombeo es de 12 horas, a su vez se subdivide en intervalos de tiempo como se describe en la Tabla 1.

**Tabla 1.** División en intervalos de tiempo del escalón de la prueba de bombeo.

Nº	Intervalo (minutos)	Repeticiones
1	1	10
2	2	5
3	5	8
4	15	4
5	30	15

**Fuente:** Autores.

Las herramientas necesarias para realizar el estudio son: un cronómetro, medidor de nivel freático, que mide el descenso del nivel del agua en un tiempo determinado. Además, se obtiene la latitud y longitud de cada uno de los pozos en los que se realizar el estudio con la ayuda de un GPS (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 determina la conductividad hidráulica (Theis, 1952).

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W_{(u)} \quad [1]$$

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

$$S = \frac{T t u}{r^2} \quad [3]$$

$$K = \frac{T}{h} \quad [4]$$

Donde:

S: Coeficiente de almacenamiento.

Q: Caudal de bombeo ( $m^3/s$ ).

T: Transmisividad ( $m^2/d$ ).

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).

$W_{(u)}$ ; u: Función de pozo.

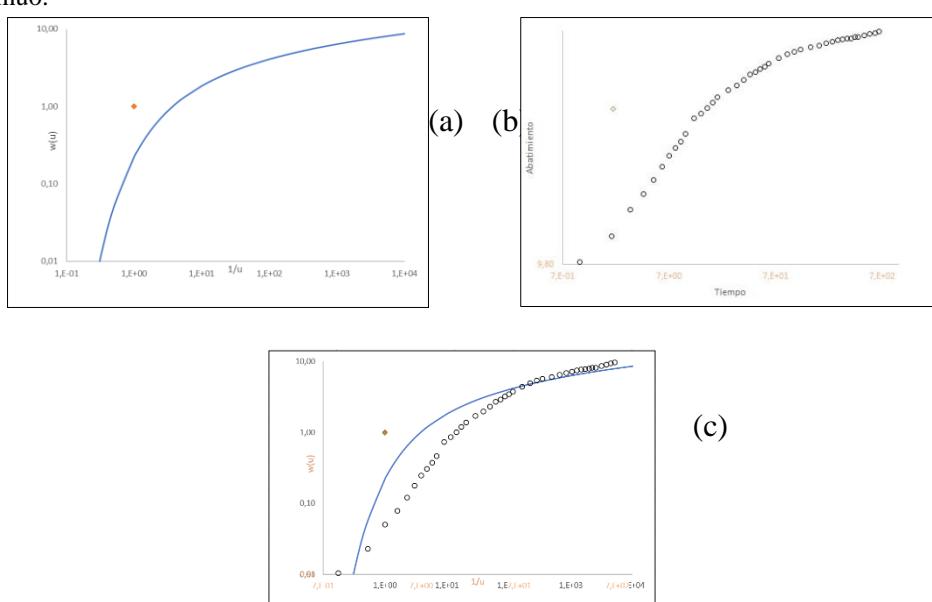
K: Conductividad hidráulica (m/d).

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

Para la obtención de la transmisividad y el coeficiente del almacenamiento utilizando este método, se realiza el procesamiento en el software Microsoft Exel (Hernández Bautista, 2019).

Se debe obtener la curva de tipo para acuífero semi confinado, relacionando los valores de  $W_{(u)}$  y  $1/u$ , dada mediante bibliografía. Luego añadir un punto referencial, de coordenadas  $x (1/u) = 1$  y  $y(W(u)) = 1$ , en la curva de tipo para acuífero confinado. A partir de la curva para tipo de acuífero confinado, crear una curva que contenga los datos de abatimiento del nivel freático y tiempo de duración de la prueba. Cambiar los valores de “x” y “y” del punto de referencia por valores de abatimiento y tiempo que estén dentro del intervalo de valores de la prueba para la segunda gráfica. Superponer las gráficas y hacer coincidir las curvas obtenidas. Variar los valores del punto referencial de la segunda gráfica, tiempo y abatimiento, hasta que coincida con el punto referencial de la primera (Hernández Bautista, 2019).

**Figura 2.** Superposición de las gráficas de la curva tipo para acuífero semiconfinado y pruebas de bombeo a caudal continuo.



**Fuente:** Autores.

Nota: Gráfica (a) curva tipo para acuífero semiconfinado; Gráfica (b) datos en escala logarítmica de una prueba de bombeo a caudal constante (Pozo CP-03); Gráfica (c) superposición de las gráficas (a) y (b).

Los valores que resulten del abatimiento y el tiempo de la prueba de bombeo son los valores que se utilizan para el cálculo final utilizando la ecuación (4).

### **3.3. Análisis Espacial de la Conductividad Hidráulica del Acuífero del Chambo**

Para el análisis espacial de la conductividad hidráulica del acuífero del río Chambo se realiza una base de datos en donde se encuentre las ubicaciones y la conductividad hidráulica de cada uno de los pozos para luego mediante el uso de sistemas de información geográfica, se realiza el análisis geoespacial el cual nos indica la forma en la que se encuentra distribuida la conductividad hidráulica dentro del acuífero del río Chambo (González et al., 2021).

### **3.4. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación se basa en un enfoque de campo con un componente correlacional. Se realizaron salidas de campo para la recolección de datos reales mediante la ejecución de pruebas de bombeo. Estas pruebas permiten obtener información precisa sobre el comportamiento hidráulico de los pozos en estudio, incluyendo variables como caudal y descenso del nivel freático.

Además de las pruebas de bombeo, se llevaron a cabo análisis detallados de estudios previos relacionados con la estratigrafía de los pozos. Esta revisión de la literatura existente permitirá obtener información valiosa sobre la estructura de los estratos presentes en los pozos.

La combinación de la recolección de datos en campo a través de pruebas de bombeo y el análisis de estudios previos de estratigrafía garantiza un enfoque integral en el estudio de los pozos en cuestión. Esta metodología permite obtener una visión más completa y precisa de su comportamiento hidráulico, así como de los factores geológicos que pueden influir en su funcionamiento.

### **3.5. Enfoque de Investigación**

La presente investigación adopta un enfoque mixto que combina elementos cuantitativos y cualitativos. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica para analizar la estructura de los pozos y se realizarán salidas de campo con el fin de ejecutar pruebas de bombeo para obtener datos reales. Esta combinación de métodos permitirá obtener una visión integral y fundamentada sobre la temática estudiada. La revisión bibliográfica proporciona una base teórica sólida, mientras que las pruebas de bombeo con datos reales ofrecen información empírica y práctica sobre las características hidráulicas del acuífero.

### **3.6. Diseño de Investigación**

La presente investigación adopta un enfoque mixto que combina elementos cuantitativos y cualitativos. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica para analizar la estructura de los pozos y se realizarán salidas de campo con el fin de ejecutar pruebas de bombeo para obtener datos reales. Esta combinación de métodos permite obtener una visión integral y fundamentada sobre la temática estudiada. La revisión bibliográfica proporcionará

una base teórica sólida, mientras que las pruebas de bombeo con datos reales ofrecerán información empírica y práctica sobre las características hidráulicas del acuífero.

### **3.7. Técnicas de Recolección de Datos**

La aplicación de sensores para la medición de nivel de agua en los pozos de agua subterránea, mediante instrumentos utilitarios para la medición de caudal, permite obtener datos en tiempo real, sobre el comportamiento del acuífero al momento de la extracción del agua. Estos dispositivos automáticos, respaldados por sistemas de adquisición de datos y tecnología GPS para la georreferenciación precisa, proporcionan información detallada sobre los cambios dinámicos en el nivel del agua, la conductividad hidráulica y caudal de trabajo.

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de la ubicación de los pozos de agua subterránea

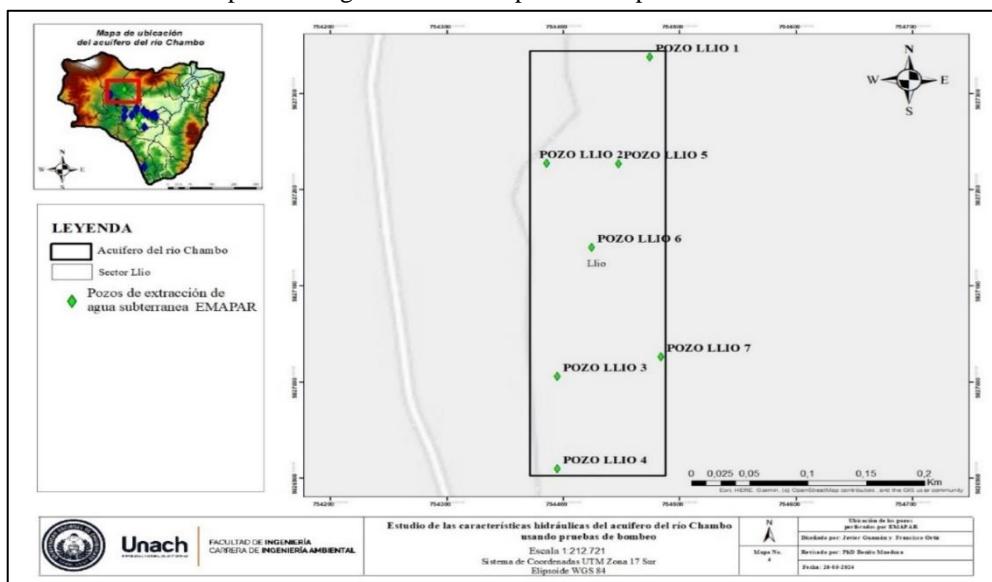
Los pozos de agua subterránea estudiados están ubicados dentro del cantón Riobamba y el cantón Guano, ocupando principalmente zonas urbanas o zonas en las que se tiene un crecimiento poblacional significativo en áreas rurales. Por lo que para satisfacer la constante demanda de agua para consumo humano es necesaria la perforación y creación de nuevas estructuras que provean de este servicio a la población.

En el cantón Guano se encuentran ubicados 3 pozos perforados por el Consejo Provincial de Chimborazo (CPCH) y 7 pozos perforados por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR). En el cantón Riobamba se encuentran ubicados 13 pozos perforados por el CPCH y 13 pozos perforados por EMAPAR. Constan en total, dentro del catastro de las dos instituciones, 36 pozos de agua subterránea perforados.

El modelo de gestión de los pozos varía dependiendo de la institución que estuvo a cargo de la perforación. En el caso de los pozos de agua subterránea perforados por CPCH, la institución mediante un convenio con la organización que represente a los beneficiarios del proyecto realiza los trabajos iniciales e instalación de la obra civil, además de los posteriores mantenimientos y la organización beneficiaria se encarga del control y distribución del agua.

EMAPAR, por otro lado, se encarga de la perforación, la construcción de las obras civiles, los mantenimientos, control y distribución del recurso hídrico. Es decir, esta institución está al frente de todo el proceso de gestión y control de los pozos de agua subterránea.

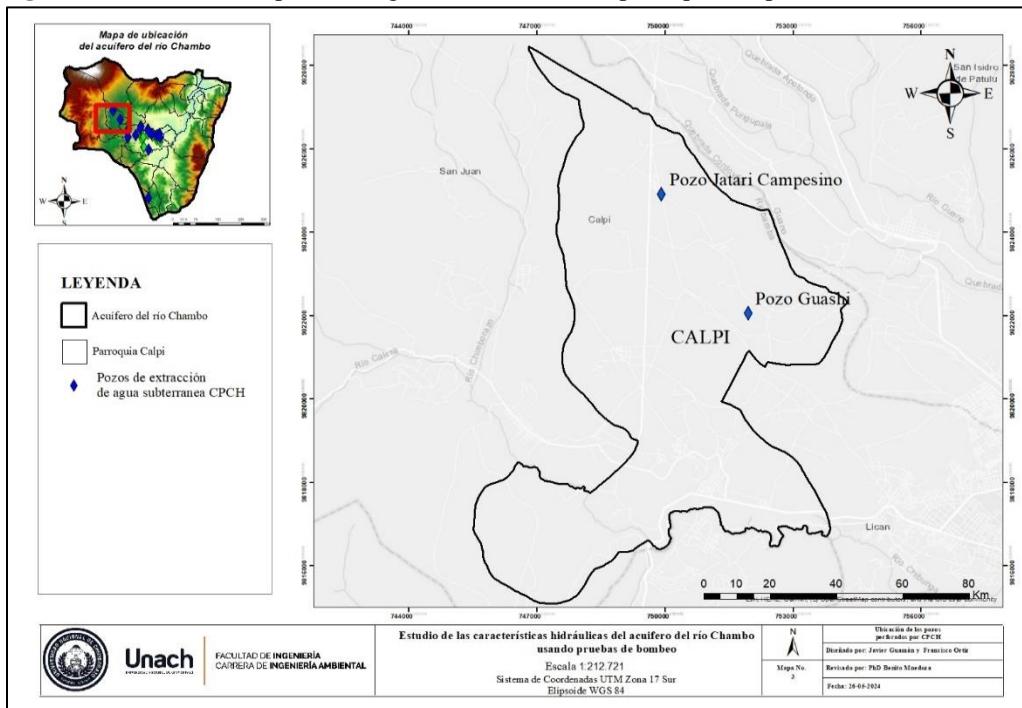
**Figura 3.** Distribución de pozos de agua subterránea perforados por EMAPAR en el sector de Llío.



Fuente: Autores

Se da un caso de concentración de pozos de agua subterránea perforados en el sector de Llío (Figura 3), los pozos están comprendidos entre los pozos Llio 1 (EP-06) y Llio 7 (EP-12) (Anexo 8), distribuidos a lo largo de aproximadamente 460 m lineales y abarcando un área aproximada de 0,064 Km<sup>2</sup>, teniendo en cuenta un polígono rectangular que abarca todos los pozos. Dada la corta distancia que existe entre cada uno de los pozos, al momento de la extracción de agua, el nivel freático desciende rápidamente, pero se ve contrarestado por la capacidad de recarga que tiene el acuífero en esta zona. Esta locación se encuentra en la zona sur – oeste de la parroquia San Isidro de Patutlu perteneciente al cantón Guano.

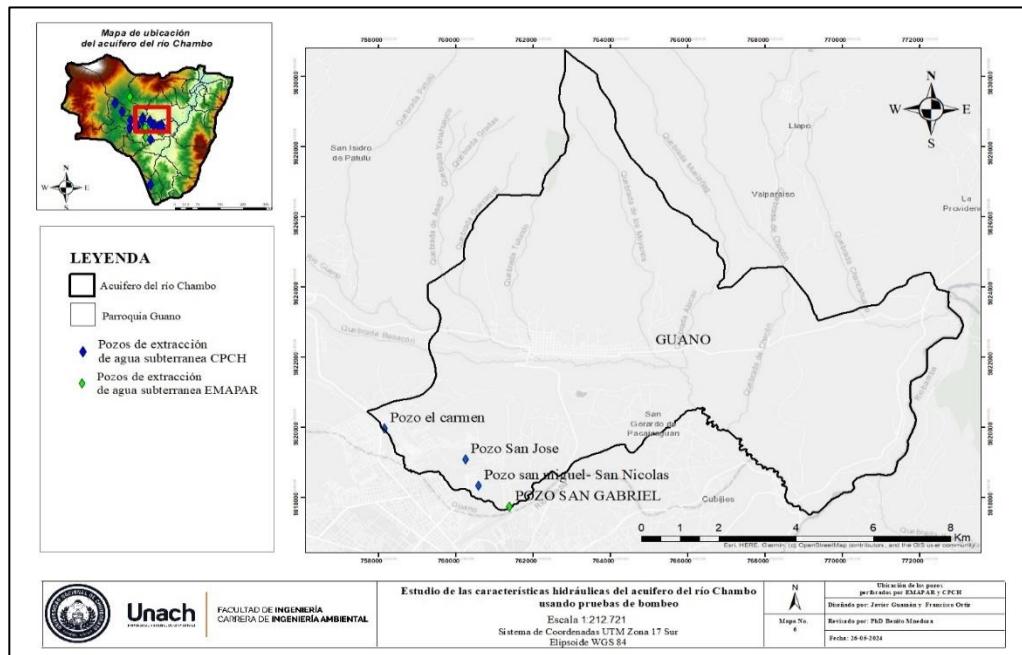
**Figura 4** Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Calpi.



**Fuente:** Autores.

En la Figura 4 se muestra la distribución espacial de los pozos de agua subterránea dentro de la parroquia Calpi. Aquí se encuentran los pozos Jatari Campesino y Gaushi, ubicados en la zona norte de la parroquia, estos pozos no se encuentran operativos debido a la falta de mantenimiento regular lo que ha causado serios daños en la infraestructura y en las bombas. La parroquia Calpi se encuentra en la parte oeste del cantón Riobamba.

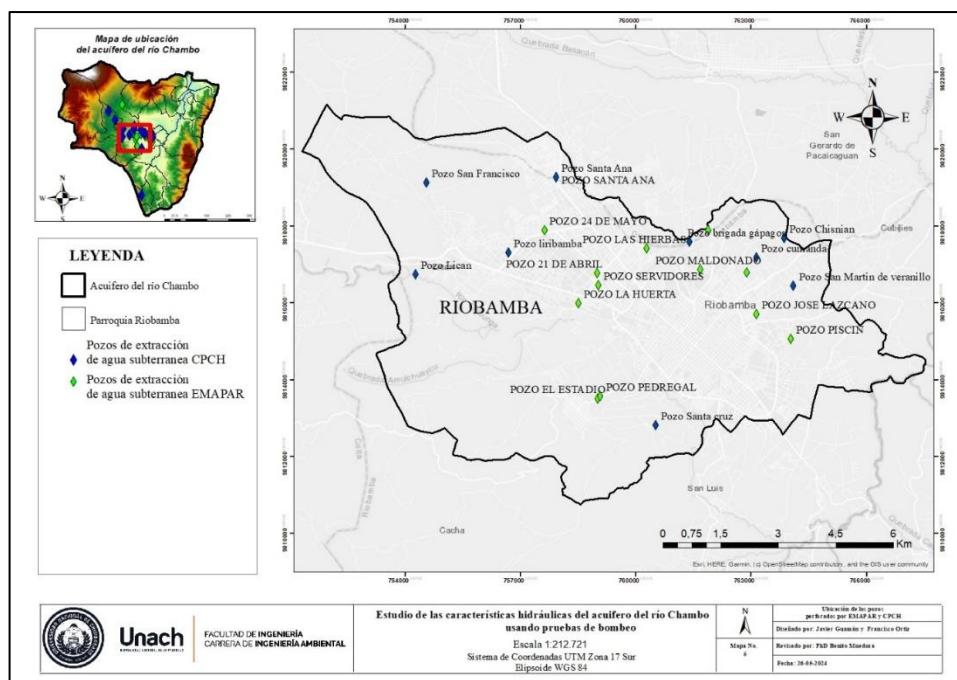
**Figura 5.** Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Guano.



Fuente: Autores.

La parroquia Guano se encuentra en la parte sur del cantón Guano. En la Figura 5 se muestra la distribución espacial de los pozos de agua subterránea dentro de la parroquia Guano. Aquí se encuentran 4 pozos de agua subterránea, el Carmen, San José, San Nicolás y San Gabriel, distribuidos en la zona sur de la parroquia, la misma que limita con el cantón Riobamba. Debido a la localización de los pozos, EMAPAR entrega al cantón Guano 32,40 l/s de caudal de agua mensualmente (EMAPAR, 2023).

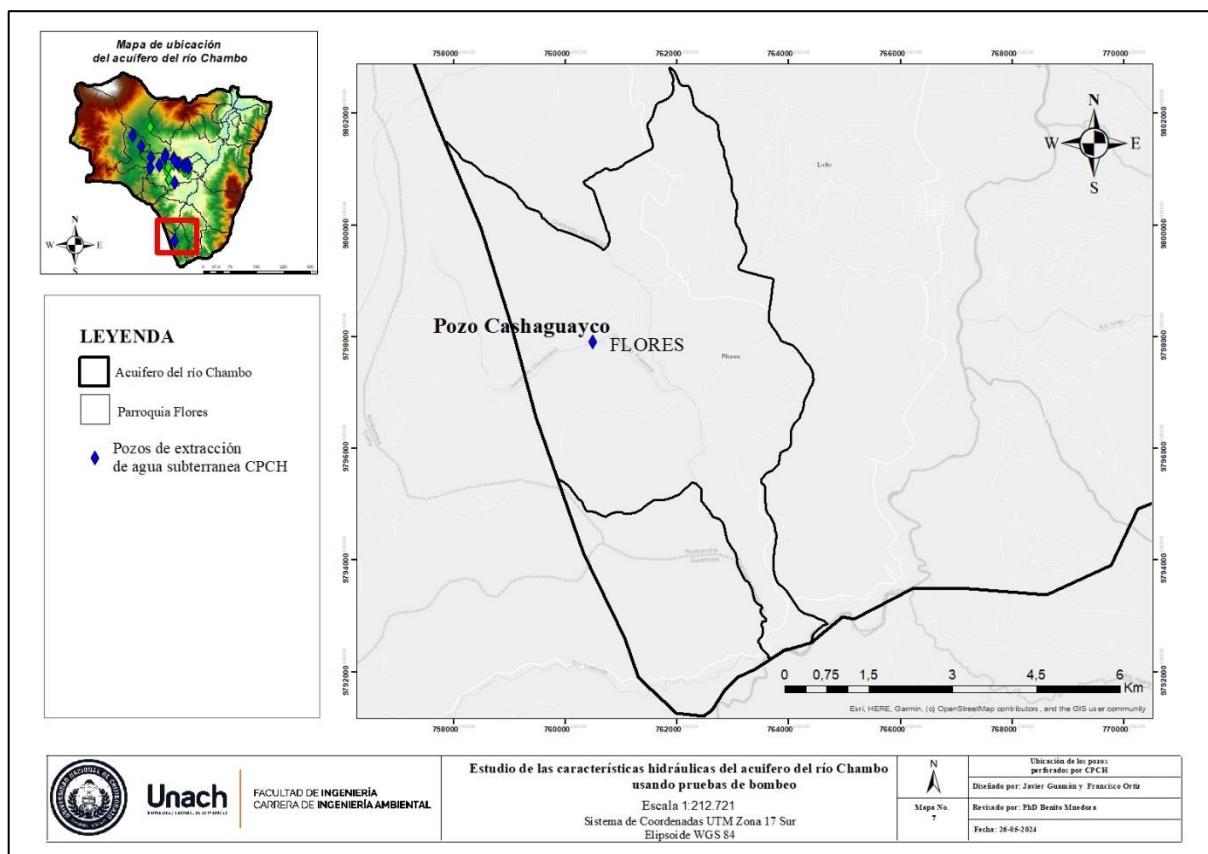
**Figura 6** Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Riobamba.



Fuente: Autores.

La parroquia Riobamba se encuentra en la zona centro del cantón Riobamba. En la Figura 6 se muestra la distribución espacial de los pozos de agua subterránea dentro de la parroquia Riobamba. Esta es la parroquia con el mayor número de pozos ya que cuenta con 22 en total, perforados tanto por el CPCH como por EMAPAR. Esta parroquia cuenta con una alta demanda de agua para consumo humano, por lo que EMAPAR reportó para el año 2022 un caudal de 715,81 l/s, que son enviados a la red de abastecimiento, aunque el caudal es significativo el sistema tiene perdidas lo que resulta en una ineficiente distribución, esto se observa en los cortes del suministro del recurso que existen en diferentes horarios.

**Figura 7.** Distribución de pozos de agua subterránea en la parroquia Flores.



**Fuente:** Autores.

La parroquia Flores se encuentra en la zona sur del cantón Riobamba. En la Figura 7 se muestra la distribución espacial de los pozos de agua subterránea dentro de la parroquia Flores. En esta parroquia se perforó el pozo Cashaguaycu, está localizado en la zona centro de la parroquia. Este es el único pozo ubicado en la zona más austral del cantón Riobamba.

#### **4.2. Análisis de la Conductividad Hidráulica Calculada a partir de los Datos de Mantenimiento de los Pozos Perforados por el CPCH.**

El Gobierno provincial de Chimborazo perforó pozos de agua subterránea con la finalidad de asegurar el acceso a agua potable a los ciudadanos que lo requerían de la región, formando de esta manera juntas de agua en cada comunidad, las cuales se encargarán de

administrar, atender y cuidar los pozos de su propiedad, con el fin de asegurar su buen funcionamiento.

Según la información mencionada por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) para obtener el permiso de perforación para un pozo de agua subterránea, los solicitantes deberán presentar la solicitud que iba dirigido tanto al viceministro de Hidrocarburos y Subsecretario de Exploración y Explotación de Petróleo y Gas Natural. Para que este proceso se haga eficaz y eficiente El Gobierno Provincial de Chimborazo optó por invertir recursos propios en el proyecto de pozos, redes domiciliarias y asesoramiento técnico. Además, el Gobierno Nacional Contribuyo con recursos, un proyecto de cooperación con Japón, quien donó maquinaria y equipos por 10 millones de dólares, y la entidad a cargo de la ejecución del proyecto de desarrollo de agua subterránea en la provincia de Chimborazo fue el Concejo provincial de Chimborazo.

Debido a este tipo de gestión realizada por el Concejo provincial de Chimborazo y las juntas de agua quienes se hicieron responsables de sus respectivos pozos de agua subterránea, recibieron capacitaciones sobre el funcionamiento de las maquinarias de los pozos de agua subterránea, se estableció un protocolo: en caso de cualquier incidente, debía notificarse a la entidad, A lo largo de los años, desde 2008 que se inició con el proyecto hasta en la actualidad, a medida que pasaba el tiempo varios sectores han enfrentado dificultades , como conflictos internos, robos de equipos, falta de mantenimiento de los pozos, lo que llevo a que las junta de agua responsables no tomaran medidas adecuadas, Como resultado algunas bombas se dañaron y algunos pozos quedaron inoperativo, dejando sin responsables que se hicieran cargos y varios sectores sin acceso al agua.

En diversos sectores se han registrados problemas significativos con los pozos de agua subterránea, el pozo de Liribamba, específicamente en el Barrio Llactpura, la bomba ha estado en funcionamiento durante aproximadamente 10 años, pero ha experimentado fallas recurrentes, debido a una mala administración. Además, el pozo San José de Guashi y el pozo de Jatarin Campesino, los pozos no están operativos. El Pozo El Carmen, la bomba ha estado fuera de servicio desde 2019 debido a un manteamiento discontinuo y robos de equipamiento.

El acuífero del río Chambo se encuentra sobre las formaciones Riobamba, Cizaran y los volcánicos Chimborazo que se caracterizan por tener alta resistividad eléctrica y baja conductividad hidráulica, lo que dificulta el flujo del agua. La impermeabilización del suelo urbano en estas áreas la hace propensa a la escorrentía superficial y le otorga un potencial acuífero bajo a medio, con altitud de hasta 3000 metros y geoformas de valle de pendientes suaves, incluye tanto la ocupación urbana, que limita la infiltración debido a la infraestructura impermeabilizada, como pequeñas áreas de cultivo en el suelo de tipo entisol de textura arcillo-arenosa (Nuñez & Procel, 2020).

**Tabla 2.** Resultados de conductividad hidráulica obtenidos de las pruebas de bombeo, al momento del mantenimiento de los pozos, realizadas por el CPCH.

Código	Perforación	Pozo	Abatimiento (m)	Nivel	Nivel	Caudal	Tiempo de	Conductividad	
				estático (m)	dinámico (m)	(l/s)	bombeo (hrs.)	m/d	m/s
CP-01	CPCH	Liribamba	9,03	87,26	96,26	7,33	49	0,11	$1,24 \times 10^{-6}$
CP-02	CPCH	San Martin de Veranillo	5,77	44,06	49,83	8	48	0,20	$2,27 \times 10^{-6}$
CP-03	CPCH	Licán	72,05	57,59	129,64	3	48	0,01	$1,48 \times 10^{-7}$
CP-04	CPCH	San Francisco de Cunduana	18,65	111,45	130,1	5,5	48	0,04	$4,47 \times 10^{-7}$
CP-05	CPCH	Cumandá	26,03	34,19	60,22	6	27	0,02	$2,80 \times 10^{-7}$
CP-06	CPCH	Brigada Galápagos	7,68	58,48	66,16	10	48	0,16	$1,87 \times 10^{-6}$
CP-07	CPCH	Cashaguaycu	49,65	23,5	73,15	2	6	0,03	$3,50 \times 10^{-7}$
CP-08	CPCH	Chisnian	4,26	34,62	38,88	11,5	48	0,33	$3,77 \times 10^{-6}$
CP-09	CPCH	El Carmen	18,68	140,13	158,81	5	48	0,04	$5,13 \times 10^{-7}$
CP-10	CPCH	Gauschi	30,32	61,81	93,53	9,2	48	0,04	$5,09 \times 10^{-7}$
CP-11	CPCH	Jatari Campesino	5,82	118	123,82	6,5	50	0,16	$1,89 \times 10^{-6}$
CP-12	CPCH	San Jose	4,95	95,07	100,01	8,5	49	0,22	$2,57 \times 10^{-6}$
CP-13	CPCH	San Miguel-San Nicolas	10,7	76,28	86,98	10	48	0,13	$1,56 \times 10^{-6}$
CP-14	CPCH	Santa Ana	21,93	49,53	71,46	8	48	0,06	$7,49 \times 10^{-7}$
CP-15	CPCH	Santa Cruz	56,9	50,93	107,83	3,33	144	0,01	$1,19 \times 10^{-7}$
CP-16	CPCH	UNACH	7,51	64	71,51	0,31	1,58	0,31	$3,53 \times 10^{-6}$

Fuente: (CPCH, 2020).

En la Tabla 2 se muestra 16 pozos de perforación identificados con códigos CP-01 a CP-16 con valores de conductividad hidráulica bajos por el tema ya mencionado anteriormente, se puede observar que la conductividad hidráulica varia ampliamente. La conductividad hidráulica obtenida va desde 0,01 m/d en el pozo Licán (CP-03) hasta 0,33 m/d en el pozo Jatari Campesino (CP-11).

Los pozos con mayor conductividad hidráulica es Jatari Campesino (CP-11),  $k=0,33$  m/d, lo que sugiere que este pozo tiene mayor capacidad para trasmitir agua, por otro lado, el pozo Licán (CP-03),  $k=0,01$  m/d, indica que este pozo tiene una menor capacidad para trasmitir agua.

Se puede observar que no hay una correlación directa entre la conductividad hidráulica y el caudal de los pozos Santa Cruz (CP-15) tiene un caudal relativamente alto , $Q=144\text{m}^3/\text{d}$ , pero con una conductividad hidráulica baja,  $k=0,01$  m/d, mientras que el pozo Jatari Campesino (CP-11) tiene un caudal moderado de,  $Q=50 \text{ m}^3/\text{d}$ , pero con una conductividad hidráulica alta,  $k=0,33$  m/d.

#### **4.3. Análisis de la Conductividad Hidráulica Calculada a partir de los Datos de Mantenimiento de los Pozos Perforados por EMAPAR.**

EMAPAR es la entidad encargada de la gestión de agua potable y alcantarillado del cantón Riobamba. La empresa realiza la perforación de pozos de agua subterránea a través de estudios hidrogeológicos y prospección geofísica para identificar áreas propicias, el uso de equipos y tecnologías de perforación avanzadas, el cumplimiento de normas técnicas y la inversión de recursos financieros para garantizar un suministro de agua seguro y sostenible para la población de la ciudad.

EMAPAR cuenta con 20 pozos de agua subterránea en toda la cuenca del río Chambo (Tabla 4), cada uno de los cuales lleva el nombre del sector al que abastece. Como institución responsable de la gestión, obras civiles, mantenimiento y control de estos pozos, EMAPAR recibe financiamiento del presupuesto de la municipalidad de Riobamba. Parte de estos recursos se ha destinado a la perforación de nuevos pozos, y se continuará destinando a futuros proyectos. Además, EMAPAR obtiene ingresos a través de las tarifas cobradas por el servicio de agua potable y busca financiamiento externo mediante organismos internacionales, bancos de desarrollo y programas de cooperación, con el objetivo de mejorar los servicios de agua potable para la comunidad.

En cuanto a la explotación de pozos de agua subterránea, EMAPAR cuenta con 7 de sus 20 pozos ubicados en el sector Llio, sector del peaje San Andrés. Estos pozos son la principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad, proporcionando un caudal de extracción de 299,39 l/s.

Acorde a la información geológica se logró identificar la presencia de las unidades hidrogeológicas de Chimborazo e Igualata, de las cuales se tomaron 5 muestras donde mostraron su respectivo análisis, compuestas por texturas de grano fino a grueso ( arena,

limo, arcilla), presentando una conductividad hidráulica de 0,01-1000 m/día y resistividad eléctrica de 435-9500  $\mu\Omega$ , mostrando mayor transmisividad y coeficiente de almacenamiento en el sector de Llío, mientras que los valores más bajos de transmisividad se observó en el sector de Yaruquies, además siguiendo con el análisis respectivo de granulometría que realizo, se revelo que la mayoría de las muestras se encuentran entre los campos de arena-limo y arena-grava, mostrando mayores conductividad hidráulica en zonas arenolimosas y menores en áreas de arena-grava, las respectivas muestras de Llio, presentaron una característica de zona arenolimosa mostrando mayor conductividad hidráulica, que en comparación de los sectores de Yaruquies, Guano, Riobamba y San Gerardo, debido que el agua se mueve desde el volcán Chimborazo pasando primero por el sector de Llío, Guano, dirigiéndose hacia el río Chambo y atravesando Riobamba, donde la concentración de pozos distorsiona el flujo natural (Espinoza & Procel, 2022).

**Tabla 3.** Resultados de conductividad hidráulica obtenidos de las pruebas de bombeo, al momento del mantenimiento de los pozos, realizadas por EMAPAR.

Código	Perforación	Pozo	Abatimiento (m)	Nivel	Nivel	Caudal	Tiempo de	Conductividad	
				estático (m)	dinámico (m)	(l/s)	bombeo (hrs.)	m/d	m/s
EP-01	EMAPAR	21 de abril	9,21	64,19	73,4	26	5	0,10	$1,17 \times 10^{-7}$
EP-02	EMAPAR	Los Ángeles	6,5	48,5	55	15,07	6,5	0,44	$5,09 \times 10^{-6}$
EP-03	EMAPAR	San Gabriel	18,5	67,3	85,8	13	5	0,17	$1,94 \times 10^{-6}$
EP-04	EMAPAR	Maldonado	10,15	62,25	72,40	13,84	5	0,07	$8,53 \times 10^{-7}$
EP-05	EMAPAR	Las Abras	54,88	65,12	120	13,90	6,5	0,07	$8,13 \times 10^{-7}$
EP-06	EMAPAR	Pozo 1 de Llio	4,15	11,49	15,64	71,35	4	6,91	$8,00 \times 10^{-5}$
EP-07	EMAPAR	Pozo 2 de Llio	18,52	9,58	28,10	42,7	5	1,81	$2,10 \times 10^{-5}$
EP-08	EMAPAR	Pozo 3 de Llio	13,4	6,3	19,7	15,94	6,51	0,61	$7,08 \times 10^{-6}$
EP-09	EMAPAR	Pozo 4 de Llio	6,82	4,54	11,36	42	5	1,82	$2,11 \times 10^{-5}$
EP-10	EMAPAR	Pozo 5 de Llio	14,16	0	14,16	45,44	3	0,35	$4,08 \times 10^{-5}$
EP-11	EMAPAR	Pozo 6 de Llio	1,2	54,96	4,5	54,96	6,5	5,68	$6,57 \times 10^{-5}$
EP-12	EMAPAR	Pozo 7 de Llio	5,89	7,51	13,4	27	6,5	2,54	$2,94 \times 10^{-5}$
EP-13	EMAPAR	Huerta	39,25	61	101,25	97,92	5	0,12	$1,34 \times 10^{-6}$
EP-14	EMAPAR	Servidores	43,3	49,8	93,10	40	5	0,17	$1,95 \times 10^{-6}$
EP-15	EMAPAR	Yaruquies / El Estadio	23	60	83	20	18,5	0,15	$1,68 \times 10^{-6}$
EP-16	EMAPAR	24 de mayo	29	81	110	15,17	4	0,09	$1,08 \times 10^{-6}$
EP-17	EMAPAR	Las Hierbas	26,50	86,5	113	32,25	18,5	0,19	$2,24 \times 10^{-6}$
EP-18	EMAPAR	José Lazcano	8,63	46,68	55,31	16	5	0,84	$9,68 \times 10^{-6}$
EP-19	EMAPAR	Piscin	11,14	41,07	52,21	14,5	5	0,21	$2,42 \times 10^{-6}$
EP-20	EMAPAR	Pedegral	2,90	58	90,90	8	4,16	0,30	$3,51 \times 10^{-6}$

Fuente: (EMAPAR, 2020).

En la Tabla 3. proporciona información sobre los 20 pozos de extracción de agua, perforados y gestionados por la institución de EMAPAR, teniendo en cuenta, que en la zona de Llio existe mayor conductividad hidráulica, los datos de la tabla indican que la conductividad hidráulica varía entre los pozos evaluados. El pozo con la mayor conductividad hidráulica es Llio 6 (EP-11) con un valor de  $k=5,68$  m/d. Por otro lado, el Pozo Maldonado (EP-04) presenta la menor conductividad hidráulica con un valor de  $k=0,07$  m/d. Los pozos faltantes muestran valores intermedios, que fluctúan entre  $k=0,10$  m/d y  $k=2,54$  m/d. En relación con el caudal, cuando la conductividad es alta, el acuífero puede trasmisir agua con mayor facilidad, lo que resulta una extracción más eficiente. En el pozo Llio 6 (EP-11) con la mayor conductividad hidráulica, también posee un alto caudal de extracción,  $Q=54,96$  l/s. En contraste, el Pozo Maldonado (EP-04), con la menor conductividad hidráulica, muestra un caudal relativamente bajo,  $Q=13,84$  l/s.

La conductividad hidráulica también tiene una relación con el abatimiento del nivel estático durante el bombeo, Un mayor valor de conductividad hidráulica puede contribuir a una disminución menor del nivel estático, ya que el acuífero puede recuperarse más rápidamente. Esto se observa en el pozo Llio 6 (EP-11) que tiene una conductividad hidráulica alta y un abatimiento de 1,2 m. Por el contrario, el pozo Maldonado (EP-04), con una conductividad baja, muestra un abatimiento significativo de 54,88 m.

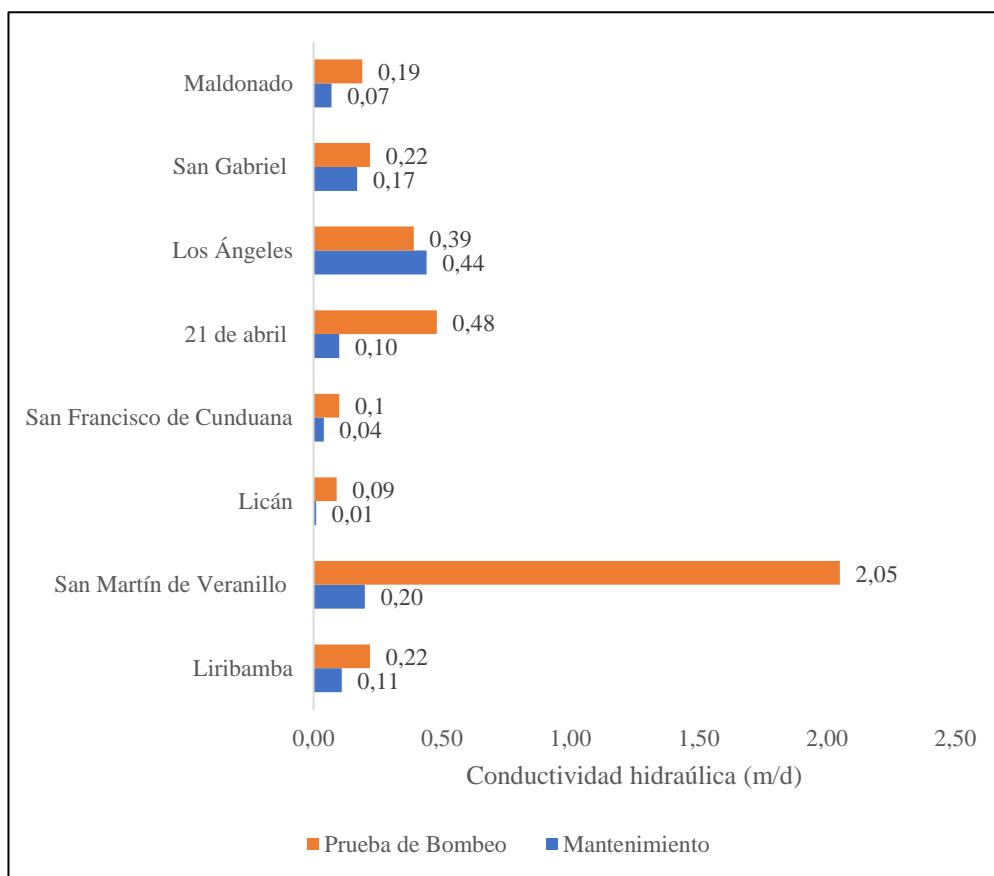
Debido a que los datos obtenidos de las pruebas de bombeo resultan en graficas discontinuas no es posible aplicar el método Theis para un cálculo correcto de la conductividad (Anexo 6.). Por razones no especificadas, se ha determinado que datos de los pozos EP-01, EP-11, EP-13, EP-14, EP-16 Y EP-17, contienen errores y no son útiles para su análisis.

#### **4.4. Análisis Comparativo entre la Conductividad Hidráulica y el Abatimiento Obtenidos de las Pruebas de Bombeo y Procesos de Mantenimiento y Perforación por Parte de EMPAR y el CPCH.**

En la Figura 8. se observa que la conductividad hidráulica máxima obtenida fue en el pozo de agua subterránea San Martín de Veranillo, perforado por el CPCH, con un valor de 2,05 m/d, además de considerar que la longitud total del sistema de filtros es de 66 m (Anexo 5.), es decir que existe 66 m efectivos en contacto directo con el acuífero. Sin embargo, en este pozo de agua subterránea se dio la mayor discrepancia entre los valores obtenidos de conductividad hidráulica de la prueba de bombeo (2,05 m/d) y el mantenimiento 0,20 m/d, el cual se dio en el año 2006 (Anexo 3.).

La menor conductividad hidráulica se dio para el pozo Licán, perforado por el CPCH, con un valor de 0,09 m/d, el cual tiene 48 m de longitud del sistema de filtros (Anexo 5.), los cuales están en contacto directo con el acuífero. En cambio, la menor diferencia entre los datos obtenidos de conductividad hidráulica de la prueba de bombeo y el mantenimiento se dio en el pozo San Gabriel, perforado y gestionado por EMAPAR, con valores de 0,22 y 17 m/d respectivamente. El mantenimiento del pozo San Gabriel se dio en el año 2021 (Anexo 3.).

**Figura 8.** Comparativa entre la conductividad hidráulica obtenida de los mantenimientos realizados por EMAPAR y CPCH con las pruebas realizadas por los autores.



**Fuente:** Autores.

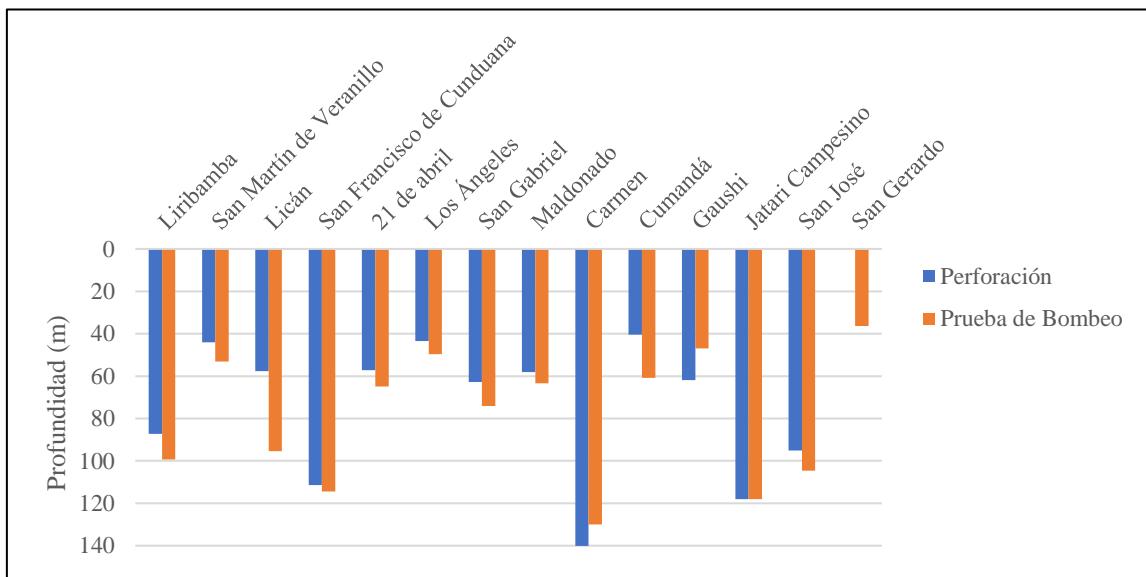
Para la medida tomada al momento de la puesta en marcha de los pozos de agua subterránea, el mayor abatimiento se obtuvo en el pozo El Carmen (CP-09) con 140,13 m de profundidad. Mientras que el menor abatimiento se obtuvo en el pozo Cumandá (CP-05) con 40,5 m de profundidad. Estos datos de abatimiento fueron tomados en los años 2008 y 2007 respectivamente.

En el caso en donde se tomaron los datos del último mantenimiento dado por las instituciones encargadas de realizar esta acción, el mayor abatimiento se obtuvo en el pozo El Carmen (CP-09) con 130,02 m de profundidad. Mientras que el menor abatimiento se obtuvo en el pozo San Gerardo (CP-10) con 36,4 m de profundidad. Estos datos de abatimiento fueron tomados en el año 2023. Se debe considerar que en el caso del pozo San Gerardo (CP-10) no existe un valor comparativo al momento de su perforación.

Para la medida tomada al momento de la prueba de bombeo de los pozos de agua subterránea, el mayor abatimiento se obtuvo en el pozo San Francisco de Cunduana (\*CP-04) con 114,46 m de profundidad. Mientras que el menor abatimiento se obtuvo en el pozo Los Ángeles (\*EP-02) con 49,71 m de profundidad. Estos datos de abatimiento fueron tomados en el año 2023.

Haciendo relación entre los datos iniciales y más reciente de abatimiento se tiene que la mayor diferencia entre estos es de 37,87 m, que corresponde al pozo Licán (\*CP-03). Mientras que la menor disparidad entre los datos iniciales y más reciente de abatimiento es de 0 m, que corresponde al pozo Jatari Campesino (CP-11).

**Figura 9.** Comparativa entre el nivel estático obtenido en la puesta en marcha de los pozos de agua subterránea y el nivel estático obtenido durante la prueba de bombeo.



**Fuente:** Autores.

Nota: Los pozos de agua subterránea en los que se realiza la comparativa corresponden a \*CP-01, \*CP-02, \*CP-03, \*CP-04, \*EP-01, \*EP-02, \*EP-03, \*EP-04, CP-05, CP-09, CP-10, CP-11, CP-12, CP-17. “\*” lleva el registro de los datos de obtenidos de las pruebas de bombeo realizadas.

Los pozos San Gerardo, Gauschi, San José y Jatari Campesino se encuentran fuera de servicio debido a falta de mantenimiento y posterior deterioro de la infraestructura y la maquinaria de los pozos. En la Tabla 4. se describe la profundidad a la que se encuentra el nivel freático de los pozos que se están fuera de funcionamiento, teniendo en cuenta que es posible acceder con sondas (Anexo 6.) para la medición de la profundidad a la que se encuentra el nivel freático.

**Tabla 4.** Pozos concesionados al CPCH que se encuentran fuera de funcionamiento.

Pozo	Nivel estático (m)
San Gerardo	36.40
Gauschi	46.98
San José	104.59
Jatari Campesino	118

**Fuente:** (CPCH, 2020).

#### 4.5. Análisis de la Conductividad Hidráulica y la Estratigrafía de los Pozos de Agua Subterránea

La disposición y características granulométricas de las diferentes capas estratigráficas que conforman la estructura del suelo determinan la oferta hídrica específica para cada pozo de agua subterránea perforado, dado que mientras más permeables sean los estratos el agua podrá fluir con mayor facilidad por el subsuelo.

**Tabla 5.** Comparativa entre la conductividad hidráulica obtenida para los pozos de agua subterránea con su estratigrafía.

Código	Pozo	Conductividad		Estratigrafía
		m/d	m/s	
*CP-01	Liribamba	0,22	$2,58 \times 10^{-6}$	Limos arenosos grises, aglomerados volcánicos andesítico-basálticos de colores variados, arcilla limosa café, limos arcillosos y arcilla café rojizo, junto con otros sedimentos y rocas volcánicas.
*CP-02	San Martín de Veranillo	2,05	$2,37 \times 10^{-5}$	Limos y limos consolidados café, escoria volcánica pómex con rocas de varios colores, rocas andesíticas basálticas gris, y rocas basálticas con limos arcillosos, entre otras capas de diferentes colores y composiciones. Limos con rocas volcánicas, escoria de piedra pómex y conglomerados, y capas de arcilla y limos de diversos tonos, incluyendo gris, café claro y crema.
*CP-03	Licán	0,09	$9,88 \times 10^{-7}$	Aglomerados volcánicos andesítico-basálticos de varios colores, con intercalaciones de jaspe, y rocas a aglomerado volcánico de andesitas en tonos grises a gris verdoso claro, con trazas de limos consolidados y arcilla.
*CP-04	San Francisco de Cunduana	0,10	$1,12 \times 10^{-6}$	Limo arenoso gris café oscuro, aglomerados volcánicos andesíticos en tonos gris verdoso claro y gris verdoso claro con jaspe, así como intercalaciones de aglomerados con limos arcillosos gris café claro y trazas de limos arcillosos en varios colores.
CP-05	Cumandá	0,02	$2,80 \times 10^{-7}$	Limos arenosos gris y gris oscuro a café, aglomerados volcánicos andesítico-basálticos de varios colores con intercalaciones de jaspe, y aglomerados volcánicos café rojizo con presencia de jaspe, así como intercalaciones de limos arcillosos. Limos arenosos, limos arcillosos negros, rocas metamórficas, intercalación de limos consolidados y vetillas de cuarzo, mostrando una secuencia estratigráfica compleja con diferentes tipos de sedimentos y rocas.
CP-06	Brigada Galápagos	0,16	$1,87 \times 10^{-6}$	Limos arenosos, aglomerados volcánicos andesítico-basálticos de varios colores con intercalaciones de jaspe, limos arcillosos, trazas de limo, cuarzo, grava y una variedad de colores.
CP-07	Cashaguaycu	0,03	$3,50 \times 10^{-7}$	
CP-08	Chisnian	0,33	$3,77 \times 10^{-6}$	

CP-09	El Carmen	0,04	$5,13 \times 10^{-7}$	Aglomerados volcánicos andesítico-basálticos con presencia de piedra pómez, intercalaciones de limos consolidados y limos arenosos, y aglomerados de andesitas en varios colores con presencia de jaspe.
CP-10	Gaushi	0,04	$5,09 \times 10^{-7}$	Limos arenosos de varios tonos, aglomerados volcánicos andesítico-basálticos con intercalaciones de jaspe, limos arcillosos, cuarzo redondeado y oxidado, y limos consolidados.
CP-11	Jatari Campesino	0,16	$1,89 \times 10^{-6}$	Limos y arenosos en tonos café gris a gris oscuro, aglomerados volcánicos andesítico-basálticos con intercalaciones de jaspe, limos arcillosos, cuarzo redondeado y oxidado, así como arena, limos y limos arcillosos de color gris.
CP-12	San Jose	0,22	$2,57 \times 10^{-6}$	Limos arenosos gris, gris oscuro a café, aglomerados volcánicos andesítico-basálticos de varios colores, aglomerados volcánicos café rojizo con presencia de jaspe, y aglomerados con intercalaciones de limos consolidados y limos arcillosos.
CP-13	San Miguel-San Nicolas	0,13	$1,56 \times 10^{-6}$	Limos arenosos gris y gris oscuro, aglomerados volcánicos andesítico-basálticos de varios colores, arcilla limosa café gris verdosa, limos arcillosos con aglomerados volcánicos, arcilla café rojizo y aglomerados de andesitas en varios colores.
CP-14	Santa Ana	0,06	$7,49 \times 10^{-7}$	Limos café oscuro, rocas volcánicas en tonos gris oscuro a gris, con trazas de pómez, y rocas de composición variada, mayormente café rojizo a gris.
CP-15	Santa Cruz	0,01	$1,19 \times 10^{-7}$	Limones café oscuro a gris, aglomerados volcánicos andesíticos en tonos gris y gris verdoso claro, limos arenosos, arcilla café rojiza con intercalaciones de micro conglomerados, y conglomerados con intercalaciones de arcilla y limos arcillosos.
CP-16	UNACH	0,31	$3,53 \times 10^{-6}$	Arena arcillosa, cantos grandes y guijas angulosas con matriz arcillosa, grava, gravilla, arena de diferentes tamaños con matriz arcillosa, y material triturado con predominio de arena gruesa y mediana.
*EP-01	21 de abril	0,48	$5,52 \times 10^{-6}$	Limo arenoso con líticos angulosos y subangulosos de roca volcánica, arena de grano fino a grueso con líticos y bloques, y arcilla arenosa con diversos tamaños de líticos y presencia de grava y guijarros.
*EP-02	Los Ángeles	0,39	$4,47 \times 10^{-6}$	Arena, arcilla, toba, conglomerado, canto rodado, gravilla, guijarros, ceniza y pómez, con variaciones en la composición y la textura a diferentes profundidades.
*EP-04	Maldonado	0,19	$2,25 \times 10^{-6}$	Limo arenoso, líticos angulosos y subangulosos. Arena limosa, líticos angulosos y subangulosos. Arena con

				fragmentos de cuarzo y arcilla. Arena con líticos subangulosos y angulosos. Arena con líticos angulosos y subgulosos, fragmentos de cuarzo. Arcilla arenosa con líticos angulosos y subredondeados.
EP-05	Las Abras	0,07	$8,13 \times 10^{-7}$	Arena fina tobácea, arena media y fina, arena rojiza muy fina, gravas, gravilla, cantos, andesitas, y arcilla en diferentes combinaciones y matrices.
EP-10	Pozo 5 de Llio	0,35	$4,08 \times 10^{-5}$	Arena, gravilla, cantos, arcilla, y roca en varias combinaciones y matrices, evidenciando procesos sedimentarios y de consolidación variados.
EP-15	Yaruquies / El Estadio	0,15	$1,68 \times 10^{-6}$	Tierra negra, arcilla café, diferentes combinaciones de arena y gravilla, así como presencia de piedras, andesitas y lentes de arcilla café parduzca en una matriz arcillosa. Limo arenoso, arena fina a gruesa con líticos angulosos y subangulosos de roca volcánica, presencia de arcilla, material triturado, y bloques. Arcilla, arena con líticos de roca volcánica, fragmentos de cuarzo, y presencia de lutita y gravas.
EP-19	Piscin	0,21	$2,42 \times 10^{-6}$	Toba volcánica, ceniza, pómez, brecha y escoria. Arena media a fina con limo. Variación entre arena fina y media con limo.
EP-20	Pedregal	0,30	$3,51 \times 10^{-6}$	

**Fuente:** Autores.

Nota: 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 de los pozos \*EP-03, EP-06, EP-07, EP-08 EP-09, EP-12, EP-18. La conductividad hidráulica obtenida de EP-01, EP-11, EP-13, EP-14, EP-16, EP-17 contiene errores. “\*” lleva el registro de los datos de conductividad obtenidos de las pruebas de bombeo realizadas para el estudio.

Teniendo en cuenta las consideraciones de falta de documentación y errores en el cálculo de la conductividad hidráulica, se tiene que la mayor conductividad hidráulica se obtuvo en el pozo San Martín de Veranillo (\*CP-02) con un valor de 2,05 m/d. Conociendo la estratigrafía característica de este pozo (Tabla 5.), en donde se describe la presencia de escoria volcánica y piedra pómez, las cuales tienen un origen volcánico, que debido a su alta porosidad contribuyen a que exista una mayor capacidad de transporte hidráulico, sin embargo, por la existencia de capas de limos y limos consolidados que actúan como barreras parciales impermeables se crean zonas de menor conductividad, es decir el agua fluirá con mayor facilidad por las capas en las que se encuentre mayor presencia de escoria volcánica y piedra pómez.

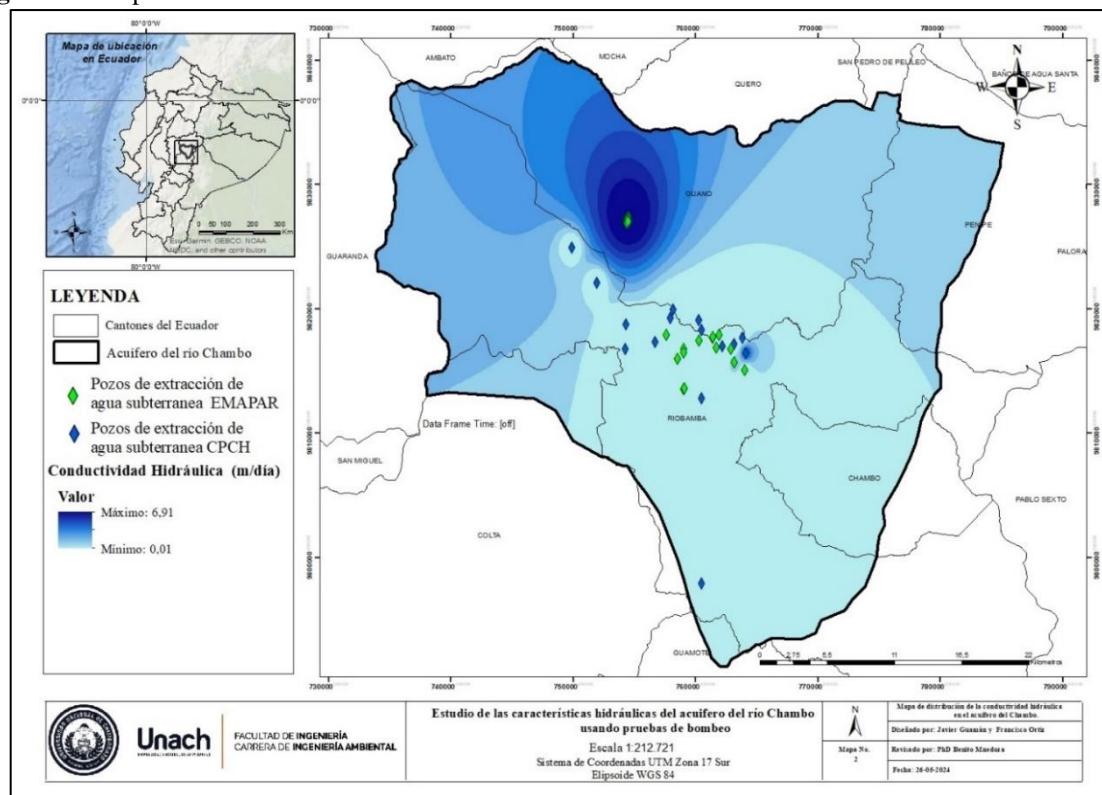
La menor conductividad hidráulica obtenida, con las consideraciones anteriores, es de 0,01 m/d, que corresponde al pozo Santa Cruz (CP-15). Haciendo relación con la estratigrafía específica de este pozo (Tabla 5.), en donde se describe un entorno geológico dominado por materiales que tienen baja permeabilidad, como limos, arcillas y conglomerados. Esta descripción va acorde al valor bajo de conductividad hidráulica, ya que en estos entornos el tiempo de recarga del acuífero es más lento. Por las condiciones de baja

permeabilidad de esta zona y de otras que tengan características similares el movimiento de contaminantes es menor, por lo que estas son zonas de retención de estos.

#### 4.6. Análisis de la Distribución Espacial de la Conductividad Hidráulica en el Acuífero del Chambo.

Al conocer las zonas de alta conductividad hidráulica se tiene una herramienta de gestión imprescindible al momento de planificar el abastecimiento de agua potable para una población.

**Figura 10.** Mapa de distribución de la conductividad hidráulica en el acuífero del río Chambo.



**Fuente:** Autores.

Nota: Para obtener una mejor distribución de la conductividad hidráulica se optó por considerar los datos de los pozos EP-11, EP-13, EP-14, EP-16, EP-17.

En la figura 10 muestra la conductividad hidráulica del acuífero del río Chambo. Las zonas de alta conductividad hidráulica están ubicadas en la parte noroeste del acuífero, la cual se encuentra dentro del cantón Guano, en esta sección del acuífero la conductividad hidráulica alcanza valores máximos de hasta 6,91 m/día. Los valores altos de conductividad hidráulica en esta zona sugieren la presencia de material permeable, como rocas volcánicas fracturadas, escoria volcánica y piedra pómex, que facilitan el flujo del agua subterránea en el subsuelo.

Las zonas de baja conductividad hidráulica se extienden principalmente en la zona sur, y sureste del acuífero del río Chambo, con valores que llegan hasta 0,01 m/día. Aunque existe una excepción la cual es el pozo de San Martín de Veranillo con un valor de 2,05

m/día, considerada una conductividad hidráulica media. Estos valores bajos indican la presencia de materiales de baja permeabilidad como limos arcillas, limos arcillosos y conglomerados, los cuales se disponen en capas y restringe el flujo del agua subterránea.

Dado que la distribución de la conductividad hidráulica es homogénea en sentido norte sur se deberían de considerar, acciones y medidas de protección para las zonas de alta conductividad hidráulica ya que estas zonas cumplen el papel fundamental de recarga del acuífero. Gracias a la alta permeabilidad de estas zonas existe una gran probabilidad de infiltración de contaminantes en el agua subterránea.

#### **4.7. Análisis Comparativo de la Conductividad Hidráulica Obtenida por otros Autores**

El siguiente análisis estará centrado en la comparativa entre los estudios titulados “Characterization of real aquifers using Hydrogeophysical measurements. An application to the Chambo aquifer (Ecuador) (Mendoza, 2014), Ferramentas de Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso na Bacia do Baixo Rio Chambo (Equador) (Procel, 2018) y los datos cruzados entre las pruebas de bombeo realizadas por los autores de este estudio.

**Tabla 6.** Comparativa de la conductividad hidráulica obtenida entre diferentes autores.

Pozo	k (Ph.D Benito Mendoza 2014, m/d)	k (Ph.D Sandra Procel 2018, m/d)	k (Autores 2023, m/d)
Licán	0,018	0,018	0,085
Langos	0,077	0,077	-
Chingazo alto	0,968	0,968	-
Brigada Galápagos	0,907	0,907	0,162
San Martín de Veranillo	1,840	1,840	2,048
El Carmen	27,302	26,438	0,044
San Antonio – Vía a Baños	0,514	0,514	-
Liribamba	1,780	1,780	0,223
Santa Ana de Tapi	0,257	-	0,065
Santa Cruz	0,072	-	0,010
Llio #5	-	0,522	0,353
El Estadio	-	0,017	0,145

**Fuente:** (Mendoza, 2014), (Procel Guerra, 2018).

Nota: Para el año 2023 se tomaron los datos de conductividad hidráulica calculados a partir de las pruebas de bombeo a caudal continuo de los pozos Licán, San Martín de Veranillo y Liribamba. Para los pozos Brigada Galápagos, El Carmen, Santa Ana de Tapi, Santa Cruz se tomaron los datos de los informes iniciales de perforación del CPCH entre los años 2006 y 2014. Para los pozos Llio 5 y El Estadio se tomaron los datos de los informes de mantenimiento de los pozos por parte de EMAPAR entre los años 2008 y 2014.

El pozo Licán exhibe valores de conductividad hidráulica constantes entre 2014 y 2018 con un valor de 0,018 m/d, lo que sugiere estabilidad en las condiciones hidrogeológicas. En el año 2023 se calculó una conductividad hidráulica de 0,085 m/d para este pozo, este aumento puede ser interpretado como un cambio en las condiciones

hidrogeológicas de la zona donde se encuentra el pozo lo que posiblemente refleja cambio en la tasa de recarga y en las condiciones del régimen de explotación de este.

En lo que respecta a los pozos de San Martín de Veranillo y el Carmen, en los años 2014 y 2018 presentaron valores altos de conductividad hidráulica debido a la presencia de materiales volcánicos y limos consolidados, con valores de 1,84 y 27,302 m/d, respectivamente. Para el año 2023 en el pozo El Carmen se tiene una gran discordancia respecto a los años anteriores, ya que se calculó una conductividad hidráulica de 0,044 m/d, mostrando una diferencia entre los valores anteriores y de este año de 27,258 m/d. Para el caso del pozo San Martin de Veranillo la conductividad hidráulica calculada para el año 2023 fue de 2,048 m/d mostrando una leve diferencia con respecto a los valores anteriormente obtenidos.

El pozo Brigada Galápagos presenta una baja en la conductividad hidráulica obtenida de los años 2014 y 2018 con respecto al 2023, ya que disminuye de 0,907 m/d a 0,162 m/d. Este cambio en la conductividad hidráulica puede ser un indicador de cambios en la disposición estratigráfica característica de este pozo.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Las pruebas de bombeo realizadas en los pozos \*CP-01, \*CP-02, \*CP-03, \*CP-04, perforados por el CPCH, y los pozos \*EP-01, \*EP-02, \*EP-03, \*EP-04, perforados por EMAPAR, muestran una notable disminución en el nivel freático en comparación con los niveles tomados al momento de la puesta en marcha de los pozos de agua subterránea, variando desde 57,59 m en el año 2006, hasta los 95,46 m en el año 2023, con una diferencia entre los niveles freáticos de 37,87 m.
- La conductividad hidráulica calculada a partir de las pruebas de bombeo mostró que en la zona del pozo San Martín de Veranillo (\*CP-02) tiene una moderada conductividad hidráulica, con un valor de 2,37 m/d, mientras que el valor más bajo calculado es de 0,09 m/d perteneciente al pozo Licán (\*CP-03).
- Las variaciones significativas de conductividad hidráulica reflejan la diversidad de los materiales subterráneos en la región. Al noroeste del acuífero, particularmente en el cantón Guano, se han registrado valores máximos de conductividad hidráulica de hasta 6,91 m/día, debido a la presencia de materiales altamente permeables. En contraste, en el sur y sureste del acuífero, la conductividad hidráulica es considerablemente menor, alcanzando valores tan bajos como 0,01 m/día, lo que indica la predominancia de materiales menos permeables, como limos, arcillas y limos consolidados.
- Un caso particular se observa en San Martín de Veranillo, donde durante el mantenimiento se midió una conductividad hidráulica de 0,20 m/día. Sin embargo, en la prueba de bombeo realizada en 2023, este valor fue de 2,05 m/día, posiblemente influenciada por cambios en las condiciones locales o la precisión de las mediciones realizadas.
- Conociendo la distribución espacial de la conductividad hidráulica del acuífero del río Chambo se pueden crear estrategias de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Riobamba, redirigiendo los esfuerzos de creación de infraestructura para la extracción de agua a volver más eficaz y eficiente al sistema.

### 5.2. Recomendaciones

- Debido a como se administran los pozos de agua subterránea, tanto en el caso de los que fueron perforados por EMAPAR y el CPCH, se debe considerar la estandarización de su gestión, siendo quien esté al frente las instituciones públicas, con el fin para facilitar el acceso a los pozos y posteriores mediciones de control. Además de facilitar los procesos de control de extracción y mantenimiento, para evitar casos en los que la infraestructura queda fuera de uso u obsoleta.
- Se debe considerar el acceso a dos equipos de medición de profundidad las cuales tengan zonas de tamaños diferentes para cubrir los diferentes diámetros que tienen las tuberías de observación o algún tipo de obstrucción que presenten las mismas.
- Se recomienda la implementaciones de estudios periódicos referentes a calidad de agua, oferta y demanda del acuífero del río Chambo, los cuales permitirán tener información

crucial para la implementación de política de gestión por parte de entidades de control públicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, P., Santos, P., & Castaño, S. (2006). *Fundamentos de Hidrogeología*. <https://www.geologaviaviva.info/wp-content/uploads/2021/01/Fundamentos-de-Hidrogeologia.pdf>
- Angelone, S., Garibay, M., & Casaux, M. (2006). *Permeabilidad en Suelos*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- Benavides Guerrero, C. E., Caro Caro, L. E., & Mariño Martínez, J. E. (2021). Determinación del comportamiento hidráulico de los acuíferos del norte de la Orinoquia, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 109–126. <https://doi.org/10.18359/rcin.4680>
- Bru, C. (2023). *LA SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS Y LOS PLANES DE ORDENACIÓN HIDRÁULICA EN LA CUENCA DEL RÍO VINALOPÓ. ALICANTE*.
- Carreon, D., & Cabral, E. (2021). *EXTRACCIÓN EXCESIVA DE AGUA CAUSA HUNDIMIENTO DE CIUDADES EN EL MUNDO*. [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021\\_041.html](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_041.html)
- Castiglion, G., Behrends Kraemer, F., & Marquez Molina, J. J. (2018). CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA DETERMINADA POR DISTINTOS PROCEDIMIENTOS EN SUELOS CON ALTA HUMEDAD INICIAL. In *Argentina* (Vol. 36, Issue 2).
- Castillo Herrera, S., Barrezueta Unda, S., & Arbito Quituisaca, J. (2019). Evaluación de la calidad de aguas subterránea de la parroquia La Peña, provincia El Oro, Ecuador. *Revista de Ciencia UNEMI*.
- Cuen, V., Acosta, V., Cuevas, E., & Altamirano, F. (2021). *Intrusión salina en pozos de Huatabampo en relación a su nivel freático*. [https://rpubs.com/Eduardo\\_Cuevas/Intrusion\\_salina\\_Eq2](https://rpubs.com/Eduardo_Cuevas/Intrusion_salina_Eq2)
- DCPRH, & FAO. (2016). *GUIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE CONTROL DE ACUÍFEROS*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per161256anx.pdf>
- Diomandé, A. (2023). *Aguas subterráneas: ¿cómo se estudia su polución y sostenibilidad?* <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/aguas-subterraneas-como-se-estudia-su-polucion-y-sostenibilidad#:~:text=Entre%20las%20principales%20causas%20de,fertilizantes%20incluidos%20los%20abonos%20animales>
- EMAPAR. (2023). *Reporte de caudales históricos*.
- Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR). (2020). *ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA, LEGAL Y FINANCIERA DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. <https://www.epemapar.gob.ec/amf.pdf>
- Espinoza, S., & Procel, S. (2022). *CORRELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE DEPÓSITOS VOLCÁNICOS DEL CHIMBORAZO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23422>

- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020 - 2030*.
- González, A., Rodríguez, G., & Fábrega Duque, J. (2021). Impacto de la cobertura boscosa y uso de suelo sobre la textura y conductividad hidráulica del suelo en la subcuenca del río Estibáná. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC*, 257–262. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3194>
- Grondona, S., Massone, H., Gonzalez, M., & Bedmar, F. (2022). Assessment of groundwater pollution hazard in agricultural areas. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 38, 111–125. <https://doi.org/10.20937/RICA.54194>
- Hernández Bautista, D. (2019). *Estimación del potencial hídrico subterráneo del Valle de Cajamarca - Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca ]. <http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/3486>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2014). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador*. <https://www.inamhi.gob.ec/>
- López, F. (2002). ESTRATEGIAS PARA PROTEGER LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CONTAMINACION. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*.
- Martínez Mónica. (2018). *METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PRUEBAS DE BOMBEO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POZO DE EXTRACCIÓN* [Universidad Nacional Autónoma de México]. [https://repositorio.unam.mx/contenidos/ficha/metodologia-para-el-analisis-de-pruebas-de-bombeo-y-diseno-de-sistemas-de-pozos-de-extraccion-122579?c=rVnVYG&d=false&q=\\*&i=1&v=1&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/ficha/metodologia-para-el-analisis-de-pruebas-de-bombeo-y-diseno-de-sistemas-de-pozos-de-extraccion-122579?c=rVnVYG&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_0&as=0)
- Mendoza, B. (2014). *CHARACTERIZATION OF REAL AQUIFERS USING HYDROGEOPHYSICAL MEASUREMENTS. AN APPLICATION TO THE CHAMBO AQUIFER (ECUADOR)*.
- Nuñez, G., & Procel, S. (2020). *CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHAMBO PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21335>
- Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO)). (2023). *Agua*.
- Procel Guerra, S. (2018). *Ferramentas de Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso na Bacia do Baixo Rio Chambo (Equador)* [Tesis de Posgrado, Universidad de São Paulo]. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44138/tde-06122018-153742/es.php>
- Rodella, A.-S., Zaveri, E., & Bertone, F. (2023). *The hidden wealth of nations*. [www.worldbank.org/](http://www.worldbank.org/)
- Sahuquillo Herráiz, A. (2009). LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (coste/uso intensivo/almacenamiento subterráneo/uso conjunto/protección acuíferos). In *Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)* (Vol. 103, Issue 1). [https://www.dipucadiz.es/export/sites/default/transicion-ecologica-y-desarrollo-urbano-sostenible/.galeria\\_de\\_ficheros/docu\\_cursos\\_jornadas/jornada-agua-subterranea/informacion\\_general/Importancia-de-las-aguas-subterraneas.pdf](https://www.dipucadiz.es/export/sites/default/transicion-ecologica-y-desarrollo-urbano-sostenible/.galeria_de_ficheros/docu_cursos_jornadas/jornada-agua-subterranea/informacion_general/Importancia-de-las-aguas-subterraneas.pdf)
- Sánchez, A., Alberto, J., Guadalupe, J., & González, A. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *TYCA* . <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353549828005>

Theis, C. (1952). *BETWEEN THE LOWERING OF THE PIEZOMETRIC SURFACE AND THE RATE AND DURATION OF DISCHARGE OF A WELL USING GROUND WATER STORAGE.*

Valcarce Ortega, R. M., Suárez González, O., & Rodríguez Miranda, W. (2021). Aplicación de la minería de datos a la evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos. *Scielo*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2227-18992021000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992021000200001)

## **ANEXOS**

### **Anexo 1. Descripción estratigráfica de los pozos de agua subterránea perforados por el Consejo Provincial de Chimborazo.**

#### **Anexo 1.1**

*Pozo Barrio Cumandá.*

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 7	Limo arenoso, gris café oscuro.
<b>2</b>	7 – 36	Aglomerados volcánicos andesíticos, de color gris verdoso claro.
<b>3</b>	36 – 44	Aglomerados volcánicos andesíticos, de color gris verdoso claro con jaspe.
<b>4</b>	44 – 68	Intercalación de aglomerados volcánicos andesíticos, con limos arcillosos gris café claro.
<b>5</b>	68 – 103	Aglomerado volcánico andesíticos de color gris verdoso y gris lila claro.
<b>6</b>	103 – 120	Aglomerados volcánicos andesíticos, de color gris verdoso claro.
<b>7</b>	120 – 132	Aglomerados volcánicos andesíticos, de color gris verdoso claro con trazas de limo arenoso arcilloso.
<b>8</b>	132 – 140	Aglomerados volcánicos andesíticos, de color gris verdoso claro.
<b>9</b>	140 – 147	Aglomerados volcánicos andesíticos, con trazas de limos arcillosos.
<b>10</b>	147 – 174	Aglomerados volcánicos andesíticos, de color gris verdoso claro a varios colores.
<b>11</b>	174 – 180	Aglomerados volcánicos andesíticos, con trazas de limos arcilloso, color café.
<b>12</b>	180 – 215	Aglomerados volcánicos andesíticos, de color gris verdoso claro a varios colores.
<b>13</b>	215 – 225	Aglomerados volcánicos andesíticos, con intercalación de limos arenosos, color café.

#### **Anexo 1.2**

*Pozo Brigada Galápagos.*

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 11	Limos arenoso gris, gris oscuro a café
<b>2</b>	11 – 23	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores con intercalaciones de jaspe.
<b>3</b>	23 – 51	Aglomerados volcánicos café rojizo con presencia de jaspe.
<b>4</b>	51 – 61	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores con intercalaciones de jaspe.
<b>5</b>	61 – 67	Aglomerado volcánico café rojizo con presencia de jaspe.

<b>6</b>	67 – 91	Aglomerado volcánico de andesitas, varios colores, con intercalación de cuarzo en forma granular y trazas.
<b>7</b>	91 – 94	Aglomerado volcánico de andesitas, varios colores, con intercalación de cuarzo en forma granular y trazas.
<b>8</b>	94 – 249	Intercalación de limos arcillosos; Aglomerado volcánico de andesitas, con intercalación de cuarzo en forma granular y trazas.

#### Anexo 1.3

Pozo Cashaguayco

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 7	Limos arenosos, café a gris oscuro.
<b>2</b>	7 – 20	Limos arenosos, café gris a gris oscuro con rocas metamórficas.
<b>3</b>	20 – 144	Rocas metamórficas, limos arcillas negros, intercalación de limos consolidados y vetillas de cuarzo.

#### Anexo 1.4

Pozo Chisnian.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 4	Limos arenosos, café gris a gris oscuro.
<b>2</b>	4 – 23	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores.
<b>3</b>	23 – 65	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de jaspe.
<b>4</b>	65 – 73	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de jaspe y limos arcillosos
<b>5</b>	73 – 130	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, color gris a lila, con trazas de limos y cuarzo.
<b>6</b>	130 – 175	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, con varios colores, intercalación grava y limos.
<b>7</b>	175 – 236	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, color gris a lila, con trazas de limo y cuarzo.

#### Anexo 1.5

Pozo El Carmen.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 13	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, con presencia de piedra pómex.
<b>2</b>	13 – 26	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, con intercalaciones de limos consolidados y limos arenosos de color café a crema claro.
<b>3</b>	26 – 53	Aglomerado volcánico de andesitas, color gris a gris verde claro.

<b>4</b>	53 – 61	Aglomerado volcánico de andesitas, de variado color con presencia de jaspe.
<b>5</b>	61 – 107	Aglomerado volcánico de andesitas, de variado color gris a gris verde claro, café claro.
<b>6</b>	107 – 143	Aglomerado volcánico de andesitas, color gris a gris verde claro.
<b>7</b>	143 – 152	Aglomerado volcánico de andesitas, de variado color con presencia de jaspe.
<b>8</b>	152 – 189	Aglomerado volcánico de andesitas, de variado color gris a gris verde claro, café claro.
<b>9</b>	189 – 198	Intercalación de aglomerados volcánicos con limos consolidados.
<b>10</b>	198 – 246	Aglomerado volcánico de andesitas, de variado color gris a gris verde claro, café claro.

#### Anexo 1.6

Pozo Gaushi.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 4	Limos arenosos, café gris a gris oscuro.
<b>2</b>	4 – 130	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de jaspe.
<b>3</b>	130 – 164	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, varios colores, intercalación de limos arcillosos;
<b>4</b>	164 – 254	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, varios colores, intercalación de cuarzo de forma redondeada y oxidada y limos consolidados.

#### Anexo 1.7

Pozo Jatari Campesino.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 7	Limos, arenosos, café gris a gris oscuro.
<b>2</b>	7 – 81	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de jaspe.
<b>3</b>	81 – 130	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de limos arcillosos.
<b>4</b>	130 – 164	Aglomerados volcánicos andesíticos, varios colores, con intercalación de cuarzo de forma redondeada y oxidada y limos consolidados.
<b>5</b>	164 – 180	Arena a limos y limos arcillosos de color gris.
<b>6</b>	180 – 258	Aglomerados volcánicos andesíticos, varios colores, con intercalación de cuarzo de forma redondeada y oxidada y limos consolidados.

## Anexo 1.8

Pozo Licán.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 3	Limos con rocas volcánicas.
2	3 – 21	Rocas volcánicas, con trazas de arena y granos de conglomerados, de color gris oscuro y escoria de piedra pómex.
3	21 – 53	Rocas volcánicas, con limos arcillosos y trazas de limos consolidados, de color café claro y gris.
4	53 – 74	Arcilla y arcilla limosa, de color café claro gris a crema.
5	74 – 82	Limos arcillosos con rocas volcánicas.
6	82 – 154	Rocas volcánicas, con limos arcillosos, óxido de hierro, de color gris, gris verdoso y gris claro.
7	154 – 172	Rocas volcánicas color gris.
8	172 – 182	Rocas volcánicas con trazas de limos arcilloso color gris.
9	182 – 186	Arcilla limosa con limos.
10	186 – 216	Rocas volcánicas, con trazas de limos arcillosos de color gris y vetillas o granos de cuarzo.
11	216 – 221	Arcilla limosa gris.

## Anexo 1.9

Pozo Liribamba.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 9	Limos arenosos, gris y gris oscuro.
2	9 – 22	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores.
3	22 – 32	Arcilla limosa, café y gris verdoso.
4	32 – 39	Limos arcillosos, con aglomerados volcánicos de varios colores.
5	39 – 47	Arcilla, café rojizo.
6	47 – 94	Aglomerado volcánico de andesitas, de variado color gris a gris verde claro, café claro.
7	94 – 107	Aglomerado volcánico café rojizo con presencia de jaspe.
8	107 – 196	Aglomerado volcánico de andesitas, varios colores, con trazas de limos consolidados.
9	196 – 202	Limos consolidados oxidados, color blanco.
10	202 – 255	Rocas a aglomerados volcánicos de andesitas de variado color gris a gris verde claro, con trazas de limos consolidados.

## Anexo 1.10

Pozo San Francisco de Cunduana.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 53	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de jaspe.
2	53 – 67	Rocas a aglomerado volcánico de andesitas, de variado color gris a gris verde claro.
3	67 – 103	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de jaspe.
4	103 – 145	Limos, limos arenosos, limos arcillosos, de color café a rojizo.
5	145 – 260	Rocas a aglomerado volcánico de andesitas, de variado color gris a gris verde claro, con trazas de limos consolidados; Intercalación de arcilla.

## Anexo 1.11

Pozo San José.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 8	Limos arenosos gris, gris oscuro a café.
2	8 – 39	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores.
3	39 – 102	Aglomerado volcánico café rojizo con presencia de jaspe; Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores; Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores, con intercalaciones de limos consolidados con limos arcillosos.
4	102 – 249	Aglomerado volcánico de andesitas, con intercalaciones de cuarzo en forma granular y limos arenosos, de varios colores.

## Anexo 1.12

Pozo San Martín de Veranillo.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 3	Limos y limos consolidados, café
2	3 – 16	Escoria volcánica pómex con rocas volcánicas, de varios colores.
3	16 – 20	Rocas andesíticas basálticas, gris.
4	20 – 22	Rocas basálticas con limos arcillosos.
5	22 – 47	Rocas andesíticas a basálticas con trazas de pómex, de varios colores.
6	47 – 49	Limos arcillosos, café claro.
7	49 – 54	Rocas andesíticas, de color gris verdoso claro.
8	54 – 61	Rocas andesíticas, de color gris verdoso claro.
9	61 – 70	Rocas mayormente andesíticas, de color gris verdoso claro a gris lila.
10	70 – 76	Rocas andesíticas, de color gris verdoso claro.
11	76 – 81	Rocas andesíticas, con intercalaciones de limos consolidados.

<b>12</b>	81 – 103	Rocas volcánicas de color gris lila.
<b>13</b>	103 – 108	Rocas andesíticas, de color gris verdoso claro.
<b>14</b>	108 – 118	Rocas mayormente andesíticas, de color gris verdoso claro a gris lila claro.
<b>15</b>	118 – 129	Rocas andesíticas, de color gris verdoso claro a gris lila con trazas de limo.
<b>16</b>	129 – 155	Rocas mayormente andesíticas a basálticas y rocas de varios colores.
<b>17</b>	155 – 59	Rocas mayormente andesíticas con limos arcillosos café claro.
<b>18</b>	159 – 174	Rocas andesíticas con rocas de varios colores.
<b>19</b>	174 – 177	Rocas de varios colores con limos arcillosos.
<b>20</b>	177 – 212	Rocas mayormente andesíticas, con trazas intercaladas de limos arenosos, de varios colores.
<b>21</b>	212 – 222	Intercalaciones de arena limosa gris y rocas andesíticas.

#### Anexo 1.13

Pozo San Miguel / San Nicolas.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 9	Limos arenosos, gris y gris oscuro.
<b>2</b>	9 – 22	Aglomerados volcánicos andesítico-basáltico, de varios colores.
<b>3</b>	22 – 32	Arcilla limosa, café gris verdosa.
<b>4</b>	32 – 39	Limos arcillosos, con aglomerados volcánicos de varios colores.
<b>5</b>	39 – 47	Arcilla, café rojizo.
<b>6</b>	47 – 94	Aglomerado volcánico de andesitas, de variado color gris a gris verde claro, café claro.
<b>7</b>	94 – 107	Aglomerado volcánico, café rojizo con presencia de jaspe.
<b>8</b>	107 – 196	Aglomerado volcánico de andesitas, varios colores, con trazas de limos consolidados.

#### Anexo 1.14

Pozo Santa Ana.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 4	Limos café oscuro y limos
<b>2</b>	4 – 25	Rocas volcánicas, gris oscuro (basálticas), a gris (andesitas y trazas de pómez).
<b>3</b>	25 – 47	Rocas volcánicas con trazas de limos arenosos.
<b>4</b>	47 – 75	Rocas volcánicas de variada composición (Andesítica y basáltica).
<b>5</b>	75 – 84	Rocas volcánicas, mayormente de color café rojizo a gris.
<b>6</b>	84 – 96	Rocas volcánicas, de color gris, gris verdoso y café.
<b>7</b>	96 – 99	Rocas volcánicas, de color café rojizo.
<b>8</b>	99 – 125	Rocas volcánicas, de color gris, andesitas.

<b>9</b>	125 – 133	Rocas volcánicas, de color gris (andesitas) con trazas de limos
<b>10</b>	133 – 187	Rocas volcánicas, de color gris (andesitas) y café rojizo
<b>11</b>	187 – 193	Rocas volcánicas con trazas de limos consolidados.
<b>12</b>	193 – 243	Rocas volcánicas andesitas de color gris claro y café rojizo.

### Anexo 1.15

Pozo Santa Cruz.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 2	Limos café oscuro a gris.
<b>2</b>	2 – 21	Aglomerados volcánicos de composición andesítica de color gris, gris verdoso claro.
<b>3</b>	21 – 26	Aglomerados volcánicos con limos arenosos.
<b>4</b>	26 – 42	Aglomerado volcánico de composición andesítica de color gris, gris verdoso claro.
<b>5</b>	42 – 54	Aglomerado volcánico con intercalación de limos arenosos.
<b>6</b>	54 – 65	Limos arenosos, café a gris claro.
<b>7</b>	65 – 90	Arcilla café rojiza, con intercalación de micro conglomerados.
<b>8</b>	90 – 102	Arcilla café rojiza.
<b>9</b>	102 – 130	Arcilla café rojiza, con intercalación de micro conglomerados.
<b>10</b>	130 – 142	Conglomerados a micro conglomerados.
<b>11</b>	142 – 159	Intercalación de conglomerados con arcilla.
<b>12</b>	159 – 177	Intercalación de conglomerados con limos arcillosos.
<b>13</b>	177 – 207	Clastos a rocas volcánicas andesitas de color gris verdoso claro.
<b>14</b>	207 – 258	Clastos a rocas volcánicas andesitas de color gris verdoso claro, con trazas de granos de cuarzo.

**Anexo 2. Descripción estratigráfica de los pozos de agua subterránea perforados por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba.**

**Anexo 2.1**

*Pozo 21 de abril.*

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 3	Limo arenoso de color marrón oscuro amarillento con líticos angulosos y subangulosos de roca volcánica.
2	3 – 10	Arena ligeramente limosa de color marrón oscuro de grano fino, medio y grueso, con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color marrón oscuro y amarillento. Presencia de bloques.
3	10 – 22	Arena de grano fino, medio y grueso. Con líticos angulosos y subgulosos y bloques de roca volcánica. Producto de la acción mecánica de la perforación se obtiene fragmentos angulosos de color gris, marrón oscuro y rojizo hasta 7mm.
4	22 – 28	Arena de grano fino a medio, de color marrón oscuro, con líticos angulosos y subgulosos, de roca volcánica, presenta arcilla color marrón y material triturado. De 26 a 28 m. arena más gruesa.
5	28 – 40	Arena de grano fino, de color marrón oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico, fragmentos de cuarzo y arcilla. De 36 a 40 m. arena de grano fino a medio.
6	40 – 45	Arena de grano fino, de color marrón oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico, presencia de pequeños bloques.
7	45 – 53	Arena de grano fino de color gris oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico de color rojo oscuro y fragmentos de cuarzo. De 39 a 40 m presencia de arcilla.
8	53 – 64	Arena de grano fino a medio, de color marrón oscuro, con líticos angulosos y subgulosos, de roca volcánica, contiene material triturado y fragmentos de cuarzo. De 60 a 64 m. arena de grano fino de color rojo oscuro. Presencia de pequeños bloques.
9	64 – 82	Arena limosa de color rojo oscuro, de grano fino, con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 5mm. A partir de los 74 a 79 m., guijarros, grava y arena limosa muy fina. Y de 79 a 82 m. arena de grano fino a medio.
10	82 – 96	Arena de grano fino de color marrón oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla a partir de los 91 a 96 m. guijarros, grava y arena de grano fino a medio.

---

11	96 – 108	Arena de grano fino de color gris oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos gránulos, fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla, guijarros y grava.
12	108- 117	Arena de grano fino a medio de color gris oscuro. Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos gránulos, fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla, guijarros y grava.
13	117 – 132	Arcilla arenosa, color marrón amarillento. Con líticos angulosos, subangulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos gránulos y fragmentos de cuarzo. De 123 a 125 y 127 a 128 m. arena de grano fino guijarros y grava.
14	132 – 148	Arena de grano fino, de color gris oscuro, con líticos angulosos, subangulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos gránulos, de cuarzo. Presencia de lutita color beige. De 146 a 148 m. presencia de arcilla de color gris.
15	148 – 169	Arcilla arenosa, color marrón amarillento con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo. Cantos rodados, guijarros, grava, gravilla y material triturado.
16	169 – 186	Arena de grano fino a medio, de color gris oscuro, con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, fragmentos y gránulos, de cuarzo. De 168 a 170 m presencia de guijarros, grava, gravilla y a partir de los 183 a 187 m. arena de grano fino, medio a gruesa.
17	186 – 191	Arcilla arenosa, color café oscuro con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 4mm.
18	191 – 204	Arcilla arenosa, color marrón amarillento, con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, con esporádicos gránulos de cuarzo. Presencia de grava fina y gruesa.

---

## Anexo 2.2

### Pozo Lascano.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	1 – 7	Arena limosa color café claro, grano grueso a medio, bien gradada.
2	7 – 42	Escoria volcánica fracturada.
3	42 – 83	Escoria volcánica, tobas, arenisca.
4	83 – 200	Presencia de limos, arenas, tobas y material conglomerático saturados. Posiblemente son sedimentos fluvio lacustres dispuestos irregularmente.

### Anexo 2.3

#### Pozo Maldonado.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 3	Limo arenoso de color marrón oscuro amarillento con líticos angulosos y subangulosos de roca volcánica.
2	3 – 10	Arena ligeramente limosa de color marrón oscuro de grano fino, medio y grueso, con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color marrón oscuro y amarillento. Presencia de bloques.
3	10 – 22	Arena de grano fino, medio y grueso. Con líticos angulosos y subgulosos y bloques de roca volcánica. Producto de la acción mecánica de la perforación se obtiene fragmentos angulosos de color gris, marrón oscuro y rojizo hasta 7mm.
4	22 – 28	Arena de grano fino a medio, de color marrón oscuro, con líticos angulosos y subgulosos, de roca volcánica, presenta arcilla color marrón y material triturado. De 26 a 28 m. arena más gruesa.
5	28 – 40	Arena de grano fino, de color marrón oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico, fragmentos de cuarzo y arcilla. De 36 a 40 m. arena de grano fino a medio.
6	40 – 45	Arena de grano fino, de color marrón oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico, presencia de pequeños bloques.
7	45 – 53	Arena de grano fino de color gris oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico de color rojo oscuro y fragmentos de cuarzo. De 39 a 40 m presencia de arcilla.
8	53 – 64	Arena de grano fino a medio, de color marrón oscuro, con líticos angulosos y subgulosos, de roca volcánica, contiene material triturado y fragmentos de cuarzo. De 60 a 64 m. arena de grano fino de color rojo oscuro. Presencia de pequeños bloques.
9	64 – 82	Arena limosa de color rojo oscuro, de grano fino, con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 5mm. A partir de los 74 a 79 m., guijarros, grava y arena limosa muy fina. Y de 79 a 82 m. arena de grano fino a medio.
10	82 – 96	Arena de grano fino de color marrón oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla a partir de los 91 a 96 m. guijarros, grava y arena de grano fino a medio.
11	96 – 108	Arena de grano fino de color gris oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos gránulos, fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla, guijarros y grava.

---

12	108 – 117	Arena de grano fino a medio de color gris oscuro. Con líticos angulosos, subangulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos gránulos, fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla, guijarros y grava. Arcilla arenosa, color marrón amarillento Con líticos angulosos, subangulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizo, esporádicos gránulos y fragmentos de cuarzo. De 123 a 125 y 127 a 128 m. 131 m. arena de grano fino guijarros y grava.
13	117 – 132	Arena de grano fino a medio, de color marrón claro, contiene fragmentos líticos subangulosas y angulosas de origen volcánico, fragmentos de cuarzo, contiene material triturado). Presencia de bloques, guijarros y gravas.
14	132 – 142	Arena limosa grano fino a medio de color marrón claro, con esporádicos fragmentos líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojo claro y oscuro. Presencia de cantos rodados, guijarros, grava, gravilla y material triturado.
15	142 – 170	

---

#### Anexo 2.4

Pozo Piscin.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 3	Limo arenoso de color marrón oscuro amarillento con líticos angulosos y subangulosos de roca volcánica.
2	3 – 10	Arena ligeramente limosa de color marrón oscuro de grano fino, medio a gruesa. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color marrón oscuro y amarillento. Presencia de bloques.
3	10 – 22	Arena de grano fino, medio y gruesa. Con líticos angulosos y subgulosos. y bloques de roca Volcánica, producto de la acción mecánica de la perforación se obtiene fragmentos angulosos de color gris, marrón oscuro y rojizo hasta 7mm.
4	22 – 28	Arena de grano fino a medio, de color marrón oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos, de roca Volcánica, presenta arcilla color café y material triturado. De 26 a 28 m. arena más gruesa.
5	28 – 40	Arena de grano fino de color marrón oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico, fragmentos de cuarzo y arcilla. De 36 a 40 m. arena de grano fino a medio.
6	40 – 45	Arena de grano fino de color marrón oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico, presencia de pequeños bloques.
7	45 – 53	Arena de grano fino de color gris oscuro, contiene líticos subangulosos y angulosos de origen volcánico de color rojo oscuro y fragmentos de cuarzo. De 39 a 40m. Presencia de arcilla.
8	53 – 64	Arena de grano fino a medio, de color marrón oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos, de roca Volcánica, contiene material triturado y fragmentos de cuarzo. De 60 a 64 m. arena

---

		de grano fino de color rojo oscuro. Presencia de pequeños bloques.
9	64 – 82	Arena limosa de color rojo oscuro de grano fino. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, marrón amarillento y rojizos, esporádicos fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 5mm. A partir de los 74 a 79 m., guijarros, grava y arena limosa muy fina. Y de 79 a 82 m. arena de grano fino a medio.
10	82 – 96	Arena de grano fino de color marrón oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de color gris, marrón amarillento y rojizos, esporádicos fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla a partir de los 91 a 96 m. guijarros, grava y arena de grano fino a medio.
11	96 – 108	Arena de grano fino de color gris oscuro. Con líticos angulosos y subgulosos de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos, esporádicos gránulos, fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla, guijarros y grava.
12	108 – 117	Arena de grano fino a medio de color gris oscuro. Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos, esporádicos gránulos, fragmentos de cuarzo y roca triturada hasta 3mm., con presencia de arcilla, guijarros y grava.
13	117 – 132	Arcilla arenosa, color marrón amarillento Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos, esporádicos gránulos y fragmentos de cuarzo. De 123 a 125 y 127 a 128 m. 131 m. arena de grano fino guijarros y grava.
14	132 – 148	Arena de grano fino de color gris oscuro. Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos, esporádicos gránulos, de cuarzo. Presencia de lutita color beige. De 146 a 148 m. presencia de arcilla de color gris.
15	148 – 169	Arcilla arenosa, color marrón amarillento Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos. Cantos rodados, guijarros, grava, gravilla y material triturado.
16	169 – 186	Arena de grano fino a medio de color gris oscuro. Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos, fragmentos y gránulos, de cuarzo. De 168 a 170 m. presencia de guijarros, grava, gravilla y a partir de los 183 a 187 m. arena de grano fino, medio a gruesa.
17	186 – 191	Arcilla arenosa, color café oscuro Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 4mm.
18	191 – 210	Arcilla arenosa, color marrón amarillento Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 2mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos, con

---

---

		esporádicos gránulos de cuarzo. Presencia de grava fina y gruesa.
19	210 – 220	Arena limosa, de grano fino de color gris oscuro. Con líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojizos. Esporádicos gránulos y fragmentos de cuarzo, grava fina, gruesa y guijarros.
20	220 – 224	Arcilla arenosa de color gris oscuro, Con esporádicos líticos angulosos, subgulosos y subredondeados de roca volcánica de 1 a 3mm., de color gris, marrón amarillento y rojo oscuro y claro y esporádicos gránulos de cuarzo. De 236 a 250 m. presencia de arena fina a media, guijarros, grava y gravillas.

---

## Anexo 2.5

Pozo 24 de Mayo.

---

Nº	Profundidad (m)	Descripción
1	0 – 10	Fragmentos de rocas volcánicas (clastos andesíticos), guijos de 6 a 10mm de aristas angulosas de color gris verdoso a rojizo.
2	10 – 30	Gravillas de aristas angulosas y pocas redondeadas, poca arena y presencia de guijos de entre 4 a 6mm.
3	30 – 33	Gravillas de aristas angulosas, poca arena variada.
4	33 – 40	Gravillas de aristas angulosas, más gruesas que el tramo anterior, poca arena gruesa.
5	40 – 46	Arena mediana y fina.
6	46 – 52	Arena gruesa y mediana, poca gravilla, presencia de arcilla gris en pequeño porcentaje.
7	52 – 64	Arcilla gris arenosa.
8	64 – 68	Arcilla gris con guijos de 4 a 6mm, poca arena.
9	68 – 74	Arcilla gris con poca cantidad de arena.
10	74 – 80	Arena media y fina en matriz arcillosa gris.
11	80 – 85	Guijos entre 8 y 10mm de aristas angulosas, poca gravilla y arena, pequeño porcentaje de arcilla gris.
12	85 – 100	Arcilla gris arenosa, presencia de un mínimo porcentaje de gravilla.
13	100 – 120	Arena media y gruesa, poca gravilla en matriz arcillosa café amarillento.
14	120 – 126	Arcilla café amarillenta arenosa, pequeño porcentaje de gravilla.
15	126 – 130	Arena mediana en matriz arcillosa café amarillento.
16	130 – 136	Arcilla café amarillenta (¿Toba?).
17	136 – 140	Arcilla café amarillenta (¿Toba?), con poca arena media y gravilla.
18	140 – 142	Gravilla y arena en matriz arcillosa café amarillento.
19	142 – 155	Arcilla café amarillenta (¿Toba?) con pequeños porcentajes de arena.
20	155 – 160	Arena mediana con poca arcilla café amarillenta.
21	160 – 164	Arcilla café amarillenta (¿Toba?) con pequeños porcentajes de arena.
22	164 – 168	Arena arcillosa café amarillenta.

---

<b>23</b>	168 – 188	Arcilla café amarillenta (¿Toba?) pequeñísimos porcentajes de arena.
<b>24</b>	188 – 191	Arena variada, predominando fina, poca gravilla, bajo % de arcilla.
<b>25</b>	191 – 196	Arena variada con gravilla en matriz arcillosa pardusca.
<b>26</b>	196 – 204	Arcilla café pardusca (¿Toba?) con mínimo porcentaje de arena.

## Anexo 2.6

Pozo el Estadio / Yaruquies.

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 1	Suelos.
<b>2</b>	1 – 3	Tierra negra.
<b>3</b>	3 – 4	Arcilla café.
<b>4</b>	4 – 15	Arena fina y media + gravilla + piedras.
<b>5</b>	15 – 19	Grava gruesa angular.
<b>6</b>	19 – 20	Roca.
<b>7</b>	20 – 22	Grava gruesa angular.
<b>8</b>	22 – 27	Gravilla angular + andesitas.
<b>9</b>	27 – 30	Arena fina arcillosa.
<b>10</b>	30 – 33	Arcilla café.
<b>11</b>	33 – 34	Arena fina y media.
<b>12</b>	34 – 35	Arena fina y media + piedra.
<b>13</b>	35 – 42	Arena media + gravilla angular.
<b>14</b>	42 – 47	Arcilla Café.
<b>15</b>	47 – 50	Arena fina y media + gravilla.
<b>16</b>	50 – 55	Arena fina y media + gravilla angular.
<b>17</b>	55 – 58	Arcilla café + poca arena fina.
<b>18</b>	58 – 66	Arena fina + arcilla café.
<b>19</b>	66 – 68	Arcilla café.
<b>20</b>	68 – 83	Arena fina + gravilla angular + poca arcilla.
<b>21</b>	83 – 95	Arena fina, media y gruesa cuarzo.
<b>22</b>	95 – 113	Arena fina y media + lentes de arcilla café parduzca.
<b>23</b>	113 – 124	Arena fina + arcilla café.
<b>24</b>	124 – 137	Arena fina arcillosa.
<b>25</b>	137 – 163	Arena media y gruesa + arcilla café.
<b>26</b>	163 – 167	Arcilla Café.
<b>27</b>	167 – 184	Arena fina consolidada.
<b>28</b>	184 – 188	Arcilla café + limo.
<b>29</b>	188 – 204	Arcilla café + poca arena fina.
<b>30</b>	204 – 210	Arena fina + arcilla café.
<b>31</b>	210 – 212	Arena fina.
<b>32</b>	211 – 214	Arena fina + arcilla café.
<b>33</b>	214 – 220	Arena fina consolidada.

**Anexo 2.7***Pozo Las Hierbas.*

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 1	Suelos.
<b>2</b>	1 – 3	Gravas + arenas.
<b>3</b>	3 – 9	Arena + gravilla.
<b>4</b>	9 – 15	Grava + arena + andesitas.
<b>5</b>	15 – 21	Gravas + piedras.
<b>6</b>	21 – 28	Grava + arena fina rojiza.
<b>7</b>	28 – 26	Arena fina + gravilla + piedras.
<b>8</b>	26 – 38	Arena rojiza y gris + grava.
<b>9</b>	38 – 60	Arena fina y media consolidada.
<b>10</b>	60 – 68	Arena rojiza + andesitas.
<b>11</b>	68 – 75	Arena rojiza y gris + poca arcilla café.
<b>12</b>	75 – 91	Arcilla gris.
<b>13</b>	91 – 94	Arcilla.
<b>14</b>	94 – 112	Arena rojiza consolidada.
<b>15</b>	112 – 116	Arena fina rojiza y gris + arcilla.
<b>16</b>	116 – 126	Arcilla gris.
<b>17</b>	126 – 139	Arena fina consolidada.
<b>18</b>	139 – 205	Arena fina gris consolidada + arcilla gris.
<b>19</b>	205 – 231	Arena fina gris consolidada.

**Anexo 2.8***Pozo Huerta / Juan Montalvo.*

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 1	Suelos.
<b>2</b>	1 – 2	Arena fina limosa con arcilla gris.
<b>3</b>	2 – 10	Arena variada predominando la fina y mediana.
<b>4</b>	10 – 12	Arena variada con gravilla en matriz arcillosa café amarillenta.
<b>5</b>	12 – 15	Gravilla + arena variada poca arcillosa.
<b>6</b>	15 – 20	Gravilla gruesa y arena variada nódulos de arcilla.
<b>7</b>	20 – 26	Arena mediana.
<b>8</b>	26 – 30	Arena mediana y gruesa.
<b>9</b>	30 – 52	Grava + gravilla de aristas angulosas y redondeadas en una matriz arcillosa café parduzca.
<b>10</b>	52 – 56	Arena variada con gravilla de aristas angulosas en matriz arcillosa café parduzca.
<b>11</b>	56 – 59	Grava y gravilla y poca arena en matriz arcillosa café parduzca.
<b>12</b>	59 – 63	Grava y gravilla y poca arena con menor porcentaje de arcilla café parduzca.
<b>13</b>	63 – 68	Arena y gravilla en matriz arcillosa café parduzca.
<b>14</b>	68 – 76	Arena variada predominando la gruesa con presencia de materiales escoráceo.
<b>15</b>	76 – 80	Gravilla y arena gruesa escorácea + poca arcilla.
<b>16</b>	80 – 96	Gravilla de aristas angulosas andesitas, poca arena y arcilla café parduzca.
<b>17</b>	96 – 97	Guja angulosa (triturado).

<b>18</b>	97 – 114	Gravilla de aristas.
<b>19</b>	114 – 124	Gravilla de aristas angulosas con arena variada en una matriz arcillosa café parduzca con menor contenido de arcilla.
<b>20</b>	124 – 143	Gravilla de aristas angulosas con arena variada en una matriz arcillosa café parduzca con mayor contenido de arcilla.
<b>21</b>	143 – 147	Arena variada arcillosa con arcilla café parduzca.
<b>22</b>	147 – 168	Gravilla de aristas angulosas. Y arena mediana y gruesa, poca arcilla café parduzca.
<b>23</b>	168 – 190	Arena variada predominando la mediana, pequeño porcentaje de gravilla y arcilla café parduzca.
<b>24</b>	190 – 200	Arena fina con arcilla.
<b>25</b>	200 – 225	Arena variada predominando la mediana con poco contenido de arcilla.
<b>26</b>	225 – 234	Arena variada predominando la mediana y gruesa con pequeño porcentaje de arcilla café parduzca.

#### Anexo 2.9

Pozo Los Ángeles.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 7	Arena fina, ceniza y arcilla.
<b>2</b>	7 – 9	Arcila y toba.
<b>3</b>	9 – 11	Arena, gravilla y toba.
<b>4</b>	11 – 18	Conglomerado, canto rodado.
<b>5</b>	18 – 21	Toba compacta.
<b>6</b>	21 – 23	Ceniza, gravilla y arcilla.
<b>7</b>	23 – 31	Toba compacta.
<b>8</b>	31 – 59	Conglomerado, canto rodado y guijarros.
<b>9</b>	59 – 65	Ceniza, pómez y toba.
<b>10</b>	65 – 80	Toba compacta y ceniza.
<b>11</b>	80 – 90	Conglomerado, canto rodado.
<b>12</b>	90 – 106	Toba compacta, ceniza.
<b>13</b>	106 – 111	Canto rodado, conglomerado.
<b>14</b>	111 – 121	Arena, grava, conglomerado.
<b>15</b>	121 – 127	Conglomerado, arena y canto rodado.
<b>16</b>	127 – 133	Arena, gravilla y conglomerado.
<b>17</b>	133 – 137	Canto rodado, guijarro.
<b>18</b>	137 – 145	Arena, gravilla y conglomerado.
<b>19</b>	145 – 147	Toba compacta.
<b>20</b>	147 – 158	Arena, gravilla y conglomerado.
<b>21</b>	158 – 174	Arena, conglomerado y gravilla, guijarros, canto rodado y cenizas.
<b>22</b>	174 – 183	Arena, gravilla y conglomerado.
<b>23</b>	183 – 188	Arena, gravilla.
<b>24</b>	188 – 192	Arena, gravilla y conglomerado.
<b>25</b>	192 – 198	Toba compacta.
<b>26</b>	198 – 204	Canto rodado, guijarros y conglomerado.
<b>27</b>	204 – 209	Toba compacta.
<b>28</b>	209 – 211	Canto rodado, guijarros y conglomerado.

<b>29</b>	211 – 215	Toba compacta.
<b>30</b>	215 – 219	Arena, gravilla y conglomerado.
<b>31</b>	219 – 228	Canto rodado, guijarros y conglomerado.
<b>32</b>	228 – 232	Toba compacta.
<b>33</b>	232 – 237	Conglomerado, canto rodado, arena.

#### Anexo 2.10

Pozo *El Pedregal*.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 1	Capa vegetal y material de cobertura.
<b>2</b>	1 – 37	Toba volcánica, ceniza, pómez. Brecha y escoria.
<b>3</b>	37 – 49	Arena media afina con limo.
<b>4</b>	49 – 65	Arena fina con limo.
<b>5</b>	65 – 71	Arena media.
<b>6</b>	71 – 85	Arena fina con limo.
<b>7</b>	85 – 141	Arena media a fina.
<b>8</b>	141 – 153	Arena fina con limo.
<b>9</b>	153 – 159	Arena media.
<b>10</b>	159 – 164	Arena fina con limo.
<b>11</b>	164 – 196	Arena variada con limo.
<b>12</b>	196 – 210	Arena fina con limo.
<b>13</b>	210 – 216	Arena media con limo.

#### Anexo 2.11

Pozo 5 de Llío.

Nº	Profundidad (m)	Descripción
<b>1</b>	0 – 2	Cancagua.
<b>2</b>	2 – 4	Arena fina y media.
<b>3</b>	4 – 5	Arena fina y media + cantos.
<b>4</b>	5 – 6	Arena fina y media.
<b>5</b>	6 – 9	Arena media y gruesa.
<b>6</b>	9 – 10	Cantos + arena gruesa y media.
<b>7</b>	10 – 15	Arena gruesa + gravilla + cantos.
<b>8</b>	15 – 19	Grava gruesa + cantos.
<b>9</b>	19 – 22	Cantos grandes + arena gruesa.
<b>10</b>	22 – 25	Arcilla café arenosa.
<b>11</b>	25 – 27	Arena fina y media rojiza y gris.
<b>12</b>	27 – 30	Cantos + arena fina y media rojiza y gris.
<b>13</b>	30 – 31	Grava.
<b>14</b>	31 – 39	Arena media y gruesa + grava angular + poca arcilla café.
<b>15</b>	39 – 42	Arena gruesa + gravilla.
<b>16</b>	42 – 49	Arena + grava angular + cantos.
<b>17</b>	49 – 51	Cantos + gravilla + arena fina y media.
<b>18</b>	51 – 57	Arena fina y media + gravilla.
<b>19</b>	57 – 58	Canto pequeño + gravilla + arena fina y media.
<b>20</b>	58 – 61	Arena fina y media + gravilla.
<b>21</b>	61 – 77	Arena fina y media + gravilla + poca arcilla café parduzca.
<b>22</b>	77 – 80	Arena fina y media.

<b>23</b>	80 – 82	Cantos + arena fina y media.
<b>24</b>	82 – 86	Arena fina y media.
<b>25</b>	86 – 101	Arena fina y media + arcilla café.
<b>26</b>	101 – 106	Piedra + arena consolidada.
<b>27</b>	106 – 108	Arcilla café + poca arena fina.
<b>28</b>	108 – 116	Arena media + gravilla angular + poca arcilla café.
<b>29</b>	116 – 126	Arena fina y media + gravilla + cantos + lentes de arcilla café.
<b>30</b>	126 – 130	Arena fina y media.
<b>31</b>	130 – 138	Arena fina y media gris y rojiza.
<b>32</b>	138 – 142	Arena fina consolidada.
<b>33</b>	142 – 145	Arena fina y media consolidada.
<b>34</b>	145 – 148	Roca.

**Anexo 2.12**  
*Pozo 6 de Llío.*

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 1	Suelos.
<b>2</b>	1 – 2	Cancagua.
<b>3</b>	2 – 6	Arena media y fina.
<b>4</b>	6 – 13	Gravilla angular + cantos.
<b>5</b>	13 – 20	Arena gruesa + gravilla + arcilla + cantos.
<b>6</b>	20 – 22	Arena gruesa + cantos.
<b>7</b>	22 – 40	Arena + gravilla angular + gravas gruesas.
<b>8</b>	40 – 43	Arena + grava gruesa.
<b>9</b>	43 – 46	Arena + grava gruesa + piedras.
<b>10</b>	46 – 57	Arena + piedras.
<b>11</b>	57 – 76	Bloques grandes.
<b>12</b>	76 – 88	Arena media + arcilla café parduzca + trazas de arcilla gris.
<b>13</b>	88 – 95	Arena gruesa + poca gravilla.
<b>14</b>	95 – 98	Arena fina semi consolidada.
<b>15</b>	98 – 105	Arena fina semi consolidada + trazas de arcilla.
<b>16</b>	105 – 109	Arena fina semi consolidada + piedra.
<b>17</b>	109 – 120	Arena fina semi consolidada.
<b>18</b>	120 – 129	Arena media en matriz de arcilla rojiza.
<b>19</b>	129 – 137	Arena gruesa + gravilla.
<b>20</b>	137 – 148	Arena fina y media.
<b>21</b>	148 – 153	Arena fina y media + arcilla parduzca.
<b>22</b>	153 – 158	Arena fina rojiza semi consolidada.
<b>23</b>	158 – 168	Bloques.

**Anexo 2.13**  
*Pozo Servidores.*

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 1	Suelos.
<b>2</b>	1 – 2	Arcilla limosa con arena fina.
<b>3</b>	2 – 9	Arena fina y mediana + ceniza.
<b>4</b>	9 – 16	Arena mediana y gruesa + sílices con módulos de cenizas.

---

<b>5</b>	16 – 20	Gravillas y guijas angulosas + poca arena.
<b>6</b>	20 – 28	Cantos gruesos + grava + gravillas angulosas en matriz arcillosa café parduzco.
<b>7</b>	28 – 31	Cantos gruesos.
<b>8</b>	31 – 39	Cantos gruesos + grava + guijas y gravillas de aristas redondeados con mayor contenido de arcilla café parduzca.
<b>9</b>	39 – 43	Gravilla de aristas angulosas (triturado) en matriz arcillosa.
<b>10</b>	43 – 47	Triturados + poca grava y gravilla en matriz arcillosa.
<b>11</b>	47 – 48	Cantos grandes + grava + poca arena.
<b>12</b>	48 – 54	Arena variada con arcilla.
<b>13</b>	54 – 60	Triturado + guijas de aristas angulosas (material escoráceo) + arcilla.
<b>14</b>	60 – 66	Arena variada + gravilla + guijas de aristas angulosas en matriz de arcilla café parduzca.
<b>15</b>	66 – 81	Arena variada + gravilla + guijas de aristas angulosas con mayor contenido de arcilla café parduzca.
<b>16</b>	81 – 95	Arcilla café verdosa con gravilla y arena variada.
<b>17</b>	95 – 99	Arcilla café verdosa con menor contenido de gravilla y arena variada.
<b>18</b>	99 – 104	Arena fina y arcilla.
<b>19</b>	104 – 123	Arena gruesa y mediana + arcilla café parduzca.
<b>20</b>	123 – 144	Arena variada, predominando la fina y mediana.
<b>21</b>	144 – 150	Arcilla café parduzca, con pequeño porcentaje de arena variada.
<b>22</b>	150 – 156	Arena variada, predominando la mediana, poco porcentaje de arcilla café parduzca.
<b>23</b>	156 – 167	Arcilla café parduzca con presencia de arena fina.
<b>24</b>	167 – 171	Gravilla de aristas angulosas (predominan) y redondeada, arena mediana, menor porcentaje de arcilla café parduzca.
<b>25</b>	171 – 174	Arena variada con mayor porcentaje de arcilla café parduzca.
<b>26</b>	174 – 184	Material triturado con arena mediana y fina + arcilla en menor porcentaje.
<b>27</b>	184 – 190	Material triturado con gravillas angulosas y redondeadas + poca arena y un mayor porcentaje de arcilla café parduzca.
<b>28</b>	190 – 193	Triturado con arena, menor porcentaje de arcilla.
<b>29</b>	193 – 198	Arcilla café parduzca, variando a gris, con poca arena y triturado.
<b>30</b>	198 – 199	Arena variada con arcilla.
<b>31</b>	199 – 217	Arcilla café parduzca con mayor porcentaje de arena variada, predominando la mediana.
<b>32</b>	217 – 219	Arcilla café parduzca con pequeño porcentaje de arena variada, predominando la mediana.

---

**Anexo 2.14***Pozo San Antonio de Padua / Las Abras.*

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 1	Suelos.
<b>2</b>	1 – 9	Arena fina tobacea.
<b>3</b>	9 – 13	Arena media y fina.
<b>4</b>	13 – 15	Arena rojiza muy fina.
<b>5</b>	15 – 17	Arena fina.
<b>6</b>	17 – 19	Arena media + andesitas.
<b>7</b>	19 – 20	Arena fina.
<b>8</b>	20 – 28	Arena media y gruesa + gravas + gravilla.
<b>9</b>	28 – 30	Gravas + gravilla + cantos.
<b>10</b>	30 – 34	Arena media y gruesa + gravas + pocas andesitas.
<b>11</b>	34 – 51	Gravas + andesitas + arena gruesa.
<b>12</b>	51 – 56	Gravilla + arena gruesa + andesitas.
<b>13</b>	56 – 58	Arena gruesa + poca grava y gravilla + arcilla café.
<b>14</b>	58 – 62	Andesitas en matriz de arcilla gris.
<b>15</b>	62 – 64	Arcilla gris + poca arena fina + grava angular.
<b>16</b>	64 – 68	Andesitas + gravas angulares en matriz de arena fina.
<b>17</b>	68 – 70	Arena gruesa rojiza + gravilla angular rojiza.
<b>18</b>	70 – 74	Arena media y gruesa.
<b>19</b>	74 – 83	Arena fina y media.
<b>20</b>	83 – 90	Arena gruesa.
<b>21</b>	90 – 92	Arena gruesa en matriz de arcilla café pardusca.
<b>22</b>	92 – 95	Arena fina en matriz de arcilla café pardusca.
<b>23</b>	95 – 101	Arena fina y media en matriz de arcilla café pardusca.
<b>24</b>	101 – 107	Arena gruesa y gravilla.
<b>25</b>	107 – 125	Arena media y gruesa.
<b>26</b>	125 – 127	Arcilla café + poca arena.
<b>27</b>	127 – 139	Arena fina + poca arcilla.
<b>28</b>	139 – 165	Arena fina en matriz arcillosa variada.
<b>29</b>	165 – 177	Arena fina + andesitas en matriz arcillosa variada.
<b>30</b>	177 – 186	Arena fina en matriz arcillosa variada.
<b>31</b>	186 – 192	Arcilla café pardusca.
<b>32</b>	192 – 204	Arena fina y media en matriz de arcilla café pardusca.

**Anexo 2.15***Pozo Santa Ana de Tapi.*

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 4	Limos café oscuro y limos.
<b>2</b>	4 – 25	Rocas volcánicas, gris oscuros (basálticas), a gris (andesitas) y trazas de pómez.
<b>3</b>	25 – 47	Rocas volcánicas con trazas de limos arenosos.
<b>4</b>	47 – 75	Rocas volcánicas de variada composición (andesíticas a basáltica).
<b>5</b>	75 – 84	Rocas volcánicas, mayormente de color café rojizo a gris.
<b>6</b>	84 – 96	Rocas volcánicas, de color gris, gris verduzco y café.
<b>7</b>	96 – 99	Rocas volcánicas de color café rojizo.
<b>8</b>	99 – 125	Rocas volcánicas, de color gris (andesíticas).

<b>9</b>	125 – 133	Rocas volcánicas de color gris (andesíticas) con trazas de limos.
<b>10</b>	133 – 187	Rocas volcánicas, de color gris, gris oscuro (andesíticas) café rojizo.
<b>11</b>	187 – 193	Rocas volcánicas, con trazas de limos consolidados.
<b>12</b>	193 – 197	Rocas volcánicas de variada composición.
<b>13</b>	197 – 200	Rocas volcánicas, con trazas de limos arenosos.
<b>14</b>	200 – 210	Rocas volcánicas, de color gris oscuro, gris.
<b>15</b>	210 – 243	Rocas volcánicas, de color gris claro (andesitas) y café rojizo. (234 – 243m no se recura la muestra por pérdida de lodo).

## Anexo 2.16

Pozo UNACH.

<b>Nº</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0 – 2	Arena arcillosa café pardusca.
<b>2</b>	2 – 30	Cantos grandes, guijas angulosas, pequeño porcentaje de gravillas, matriz arcillosa café pardusca.
<b>3</b>	30 – 34	Grava, gravilla, pequeño porcentaje de arena gruesa, matriz arcillosa café pardusca.
<b>4</b>	34 – 49	Arena variada predominando la mediana, poca cantidad de arcilla café pardusca
<b>5</b>	49 – 60	Guijas de aristas angulosas, poco contenido de grava y gravilla, matriz arcillosa café pardusca.
<b>6</b>	60 – 75	Grava y gravilla de aristas angulosas y redondeadas, poco contenido de arena gruesa, matriz arcillosa café pardusca.
<b>7</b>	75 – 104	Arcilla café pardusca con pequeño porcentaje de gravillas y arenas.
<b>8</b>	104 – 107	Arena gruesa y mediana con pequeño porcentaje de gravilla, matriz arcillosa café pardusca.
<b>9</b>	107 – 113	Arcilla café pardusca con pequeño porcentaje de gravilla y arena.
<b>10</b>	113 – 124	Material triturado, arena variada predominando la gruesa, pequeño porcentaje de gravilla, matriz arcillosa café pardusca.
<b>11</b>	124 – 161	Material triturado, arena variada predominando la mediana, poca gravilla, pequeño porcentaje de arcilla café pardusca.

**Anexo 3. Comparativa entre la conductividad hidráulica obtenida de los mantenimientos de EMAPAR y el CPCH y las pruebas de bombeo realizadas.**

Código	Pozo	Perforación	Mantenimiento			Prueba de bombeo		
			m/d	m/s	Año	m/d	m/s	Año
*CP-01	Liribamba	CPCH	0,11	1,24x10 <sup>-6</sup>	2008	0,22	2,58x10 <sup>-6</sup>	2023
*CP-02	San Martín de Veranillo	CPCH	0,20	2,27x10 <sup>-6</sup>	2006	2,05	2,37x10 <sup>-5</sup>	2023
*CP-03	Licán	CPCH	0,01	1,48x10 <sup>-7</sup>	2006	0,09	9,88x10 <sup>-7</sup>	2023
*CP-04	San Francisco de Cunduana	CPCH	0,04	4,47x10 <sup>-7</sup>	2015	0,10	1,12x10 <sup>-6</sup>	2023
*EP-01	21 de abril	EMAPAR	0,10	1,17x10 <sup>-6</sup>	2021	0,48	5,52x10 <sup>-6</sup>	2023
*EP-02	Los Ángeles	EMAPAR	0,44	5,09x10 <sup>-6</sup>	2020	0,39	4,47x10 <sup>-6</sup>	2023
*EP-03	San Gabriel	EMAPAR	0,17	1,94x10 <sup>-6</sup>	2021	0,22	2,50x10 <sup>-6</sup>	2023
*EP-04	Maldonado	EMAPAR	0,07	8,53x10 <sup>-7</sup>	2021	0,19	2,25x10 <sup>-6</sup>	2023

**Anexo 4. Comparativa entre el Nivel Estático Obtenido en la Perforación de los Pozos de Agua Subterránea y Durante la Prueba de Bombeo.**

Código	Pozo	Perforación		Prueba de bombeo		Diferencia
		m	Año	m	Año	
*CP-01	Liribamba	87,26	2008	99,31	2023	12,05
*CP-02	San Martín de Veranillo	44,06	2006	53,05	2023	8,99
*CP-03	Licán	57,59	2006	95,46	2023	37,87
*CP-04	San Francisco de Cunduana	111,45	2015	114,46	2023	3,01
*EP-01	21 de abril	57,25	2016	64,85	2023	7,6
*EP-02	Los Ángeles	43,5	2013	49,71	2023	6,21
*EP-03	San Gabriel	62,8	2018	74,15	2023	11,35
*EP-04	Maldonado	58,04	2015	63,42	2023	5,38
CP-09	Carmen	140,13	2008	130,02	2023	10,11
CP-05	Cumandá	40,50	2007	60,8	2023	20,30
CP-10	Gauschi	61,81	2019	46,98	2023	14,83
CP-11	Jatari Campesino	118	2017	118	2023	0
CP-12	San José	95,07	2014	104,59	2023	9,52
CP-17	San Gerardo	-	-	36,40	2023	-

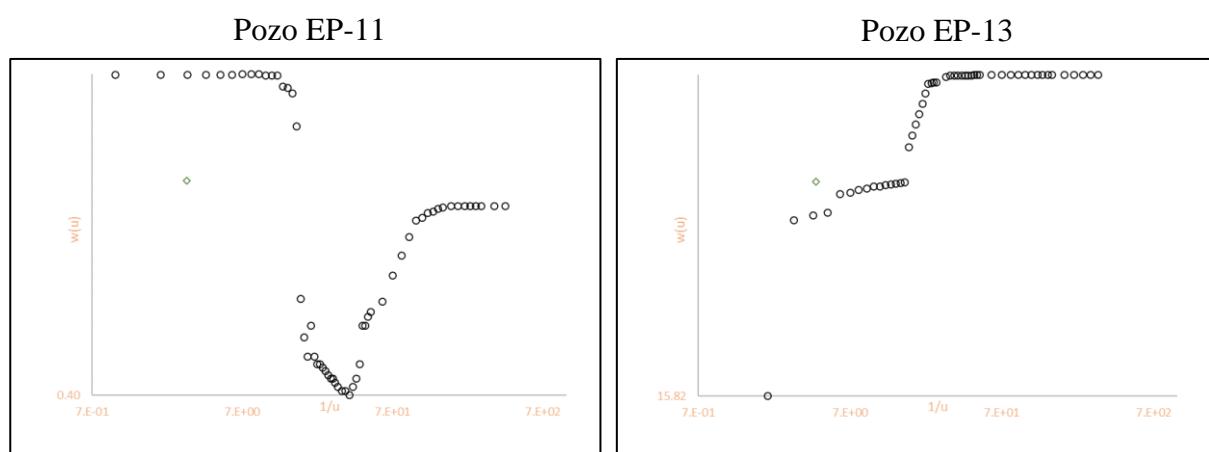
**Anexo 5. Parámetros Utilizados para el Cálculo de la Conductividad Hidráulica.**

Nº	Código	Pozo	Tiempo (min)	Abatimiento (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /d)	Espesor de filtros (m)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)
1	*CP-01	Liribamba	2.16	4.076	639.36	56.1	12.48
2	*CP-02	San Martin de Veranillo	2.18	3.30	4580.93	54	110.57
3	*CP-03	Licán	2.07	20.14	1036.8	48	4.10
4	*CP-04	San Francisco	2.07	8.19	596.16	60	5.79
5	CP-05	Cumandá	4.14	23.76	518.4	71.9	1.74
6	CP-06	Brigada Galápagos	2.06	5.77	864	74	11.92
7	CP-07	Cashaguaycu	2.05	18.95	172.8	24	0.73

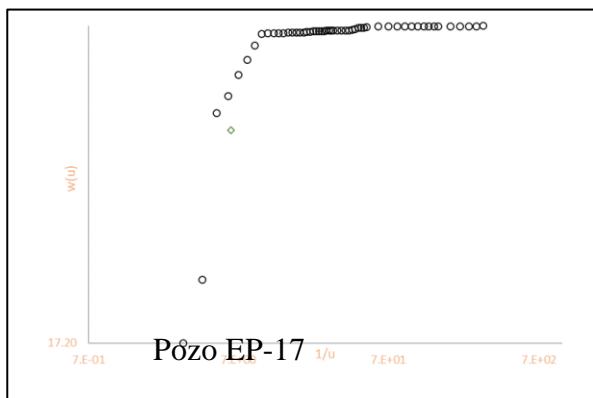
8	CP-08	Chisnian	2.06	3.51	993.6	69	22.50
9	CP-09	El Carmen	2.07	13.10	432	59.2	2.63
10	CP-10	Gaushi	2.05	23.99	794.88	60	2.64
11	CP-11	Jatari Campesino	2.04	4.75	561.6	57.5	9.40
12	CP-12	San Jose	2.07	4.47	734.4	59	13.08
13	CP-13	San Miguel-San Nicolas	2.04	9.11	864	56.05	7.55
14	CP-14	Santa Ana	2.07	12.92	691.2	65.8	4.26
15	CP-15	Santa Cruz	4.12	32.76	287.71	68	0.70
16	CP-16	UNACH	2.07	7.01	1209.6	45	13.74
17	*EP-01	21 de abril	2.07	6.25	1797.98	48	22.91
18	*EP-02	Los Ángeles	2.07	5.66	1319.33	48	18.54
19	*EP-03	San Gabriel	2.07	5.26	941.76	66	14.24
20	*EP-04	Maldonado	4.10	8.69	1019.52	48	9.34
21	EP-05	Las Abras	2.08	24.28	1200.96	56	3.94
22	EP-06	Pozo 1 de Llio	2.08	3.95	6164.64	18	124.35
23	EP-07	Pozo 2 de Llio	2.06	9.01	3689.28	18	32.60
24	EP-08	Pozo 3 de Llio	2.09	9.52	1377.22	18.8	11.51
25	EP-09	Pozo 4 de Llio	6.14	6.60	3628.8	24	43.73
26	EP-10	Pozo 5 de Llio	4.12	13.05	3926.02	68	23.95
27	EP-11	Pozo 6 de Llio	2.99	1.39	4748.54	48	272.44
28	EP-12	Pozo 7 de Llio	2.06	4.88	2332.8	15	38.08
29	EP-13	Huerta	4.18	29.02	2413.03	57	6.62
30	EP-14	Servidores	6.25	31.96	3456	51	8.61
31	EP-15	Yaruquies / El Estadio	2.04	17.50	1728	54	7.86
32	EP-16	24 de mayo	2.99	28.66	1310.69	39	3.64
33	EP-17	Las Hierbas	2.07	21.14	2786.4	54.3	10.49
34	EP-18	José Lazcano	2.05	2.92	1382.4	45	37.62
35	EP-19	Piscin	2.05	9.37	1252.8	51	10.64
36	EP-20	Pedegral	2.06	3.18	691.2	57	17.31

#### Anexo 6. Gráficas de Error en la Aplicación del Método de Theis.

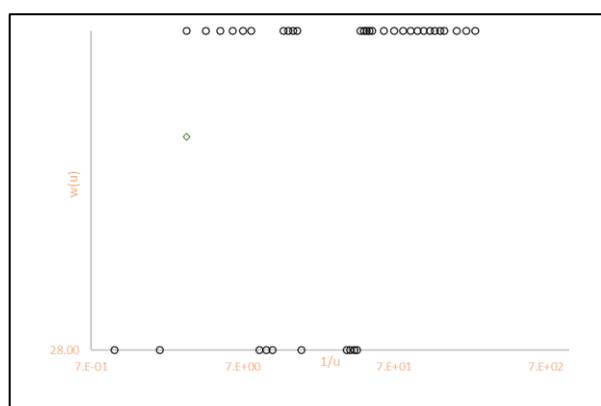
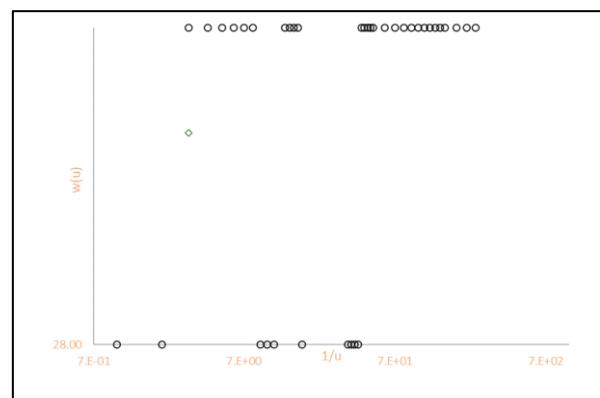
Las gráficas que se presentan a continuación pertenecen a los pozos EP-11, EP-13, EP-14, EP-16, EP-17, las cuales tienen discontinuidad en sus datos lo que no permite la implementación correcta del método Theis para el cálculo de la conductividad hidráulica.



Pozo EP-14



Pozo EP-16



## Anexo 7. Evidencia Fotográfica



Nota: Reuniones preliminares con las autoridades y encargados de la administración y gestión de los pozos de agua subterránea.



Nota: Toma de datos al momento de realizar las pruebas de bombeo en los pozos 21 de abril y Cunduana.



Nota: Estado de la infraestructura de pozo Maldonado, afectado por la acumulación de carbonatos y sales.



Nota: Medidor de profundidad usado en las pruebas de bombeo, marca Solints model 101.

#### **Anexo 8. Coordenadas de los pozos perforados por EMAPAR y el CPCH**

<b>Código</b>	<b>Perforación</b>	<b>Pozo</b>	<b>Ubicación</b>	
			<b>x</b>	<b>y</b>
CP-01	CPCH	Liribamba	756684	9817300

CP-02	CPCH	San Martin de Veranillo	764099	9816445
CP-03	CPCH	Licán	754270	9816744
CP-04	CPCH	San Francisco	754546	9819120
CP-05	CPCH	Cumandá	763133	9817174
CP-06	CPCH	Brigada Galápagos	763133	9817174
CP-07	CPCH	Cashaguaycu	760495	9797892
CP-08	CPCH	Chisnian	763861	9817674
CP-09	CPCH	El Carmen	758143	9819957
CP-10	CPCH	Gaushi	751947	9822061
CP-11	CPCH	Jatari Campesino	749914	9824907
CP-12	CPCH	San Jose	760241	9819076
CP-13	CPCH	San Miguel-San Nicolas	760749	9818650
CP-14	CPCH	Santa Ana	757920	9819274
CP-15	CPCH	Santa Cruz	760519	9812818
CP-16	CPCH	UNACH	762211,806	9816984,195
EP-01	EMAPAR	21 de Abril	758996,27	9816758,62
EP-02	EMAPAR	Los Ángeles	762900	9816787
EP-03	EMAPAR	San Gabriel	761383,55	9817732,87
EP-04	EMAPAR	Maldonado	761690	9816846
EP-05	EMAPAR	Las Abras	761883,7	9817886,71
EP-06	EMAPAR	Pozo 1 de Llio	754480,44	9827340,89
EP-07	EMAPAR	Pozo 2 de Llio	754383,91	9827227,39
EP-08	EMAPAR	Pozo 3 de Llio	754433,53	9827136,25
EP-09	EMAPAR	Pozo 4 de Llio	754392,75	9826906,15
EP-10	EMAPAR	Pozo 5 de Llio	754373,76	9827216,42
EP-11	EMAPAR	Pozo 6 de Llio	754394,45	9827004,04
EP-12	EMAPAR	Pozo 7 de Llio	754482,74	9827027,37
EP-13	EMAPAR	Huerta	758511,29	9815987,36
EP-14	EMAPAR	Servidores	759025,64	9816464,76
EP-15	EMAPAR	Yaruquies / El Estadio	759077,05	9813566,88
EP-16	EMAPAR	24 de mayo	757622,71	9817879,9
EP-17	EMAPAR	Las Hierbas	760278,53	9817425,32
EP-18	EMAPAR	José Lazcano	763168	9815675
EP-19	EMAPAR	Piscin	764074	9815075
EP-20	EMAPAR	Pedegral	759083,93	9813568,87