

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Modelo socio-hidrogeológico aplicado a la gestión sostenible del agua en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Valdivia (Santa Elena-Ecuador).

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOLOGÍA

Presentado por:

Valery María Vargas Ormaza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

En dedicación a Dios, a mis padres y a mis familiares, quienes han sido mi pilar fundamental, mi fuente de inspiración, sabiduría, conocimiento y comprensión, a lo largo de mi preparación académica. También dedico este trabajo a Ricardo Ortiz y Danny Medina, por el apoyo, la paciencia y su comprensión durante la realización de este proyecto.

Valery María Vargas Ormaza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primordialmente a Dios, por darme fortaleza y acompañarme en el proceso de realización de este proyecto. Me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a mi tutor, el Dr. Paúl Carrión, quién ha sido una inspiración en el desarrollo de este proyecto. Él es la verdadera definición de líder y un modelo para seguir. Esta tesis no hubiera sido posible sin el Dr. Fernando Morante y el M.Sc. David Altamirano, cuya orientación desde el paso inicial en la investigación me permitió desarrollar el presente proyecto. También un agradecimiento especial a todo el equipo del CIPAT y a la JAAPR-Valdivia, por facilitar y aportar con su colaboración en la realización de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Valery Maria Vargas Ormaza* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Valery María Vargas
Ormaza

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
DAVID RICARDO
ALTAMIRANO
MORAN

Ing. David Altamirano, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
PAUL CESAR
CARRION MERO

Ing. Paúl Carrión, PhD.

PROFESOR TUTOR

Ing. Fernando Morante, PhD.

PROFESOR COTUTOR

RESUMEN

Las comunas de Valdivia, San Pedro, Sinchal, Barcelona y Carrizal, se ubican en Santa Elena, caracterizadas por ser de clima árido-semiárido en consecuencia existe frecuentemente escasez de agua dulce. Para combatir esto, el presente trabajo evalúa las condiciones naturales y antrópicas de la cuenca del río Valdivia por medio de un modelo socio-hidrogeológico; analiza las interacciones de la sociedad con los recursos hídricos; presenta las características hidrogeológicas del sistema río-acuífero en la cuenca del río Valdivia y establece una zonificación territorial-social para la gestión sostenible del agua. Generando un modelo socio-hidrogeológico que permita a la JAAPR-Valdivia gestionar el manejo y abastecimiento de agua. En el trabajo se empleó técnicas como geo-eléctrica aplicada, medición de parámetros físico-químicos, registros de niveles piezométricos de los pozos y metodología investigación-acción participativa. Como resultado, se obtuvo un modelo socio-hidrogeológico en base a sistemas hidrogeológicos, ecológicos, económico y social con estrategias para solucionar sus problemáticas. Finalmente, la propuesta encamina a la junta hacia la gestión sostenible del agua, a través de la participación social. Otorgándole a la comunidad un sentido de pertenencia y la responsabilidad de cuidar sus recursos hídricos.

Palabras Clave: Socio-hidrogeológico, Hidrogeológico, Ecológico, Social.

ABSTRACT

The communes of Valdivia, San Pedro, Sinchal, Barcelona and Carrizal, are located in Santa Elena, characterized by having an arid-semi-arid climate, worsening its shortage of fresh water. To cope this, the project evaluates the natural and anthropic conditions of the Valdivia river basin through a socio-hydrogeological model; analyzes the interactions of society with water resources; presents the hydrogeological characteristics of the river-aquifer system in the Valdivia river basin and establishes a territorial-social zoning for sustainable water management. Generating a socio-hydrogeological model that allows JAAPR-Valdivia to manage water supply and management. The project used applied geo-electrical, measurement of physical-chemical parameters, records of piezometric levels of the wells and participatory action research methodology. As a result, a socio-hydrogeological model was obtained based on hydrogeological, ecological, economic and social systems with strategies to solve their problems. Finally, the proposal directs the board towards sustainable water management, through social participation. Giving the community a sense of belonging and the responsibility to take care of its water resources.

Keywords: socio-hydrogeological, hydrogeological, ecological, social.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema.....	1
1.3 Justificación del problema.....	2
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Delimitación de la zona de estudio.....	4
1.5.1 Descripción geográfica y geomorfológica.....	4
1.5.2 Descripción geológica.....	6
CAPÍTULO 2.....	10
2. Marco teórico.....	10
2.1 Cuenca hidrográfica.....	10
2.2 Hidrometeorología.....	10
2.3 Balance hídrico del suelo.....	10
2.4 Hidrogeología.....	11
2.5 Acuíferos.....	12
2.5.1 Tipos de acuíferos.....	13

2.6	Acuíferos costeros.....	13
2.7	Socio-Hidrogeología.....	14
CAPÍTULO 3.....		17
3.	Metodología.....	17
3.1	Fase I: Información de la cuenca hidrográfica.....	18
3.1.1	Clasificación de la cuenca hidrográfica.....	18
3.1.2	Precipitaciones y temperaturas diarias.....	19
3.2	Fase II: Análisis de la hidrogeología.....	20
3.2.1	Reconocimiento de campo.....	20
3.2.2	Mapa Hidrogeológico.....	27
3.3	Fase III: Modelo conceptual y metodología IAP.....	27
3.3.1	Modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero.....	27
3.3.2	Metodología investigación-acción participativa.....	27
3.4	Fase IV: Propuesta de modelo socio-hidrogeológico.....	29
CAPÍTULO 4.....		30
4.	Resultados y Análisis.....	30
4.1	Cuenca hidrográfica.....	30
4.1.1	Clasificación de la cuenca hidrográfica.....	30
4.1.2	Precipitaciones.....	31
4.2	Hidrogeología.....	33
4.2.1	Diagnóstico de parámetros físico-químicos.....	33
4.2.2	Resultados de SEVs.....	35
4.2.3	Mapa Hidrogeológico.....	41
4.3	Modelo conceptual y proceso IAP.....	43
4.3.1	Modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero.....	43
4.3.2	Metodología investigación-acción participativa.....	45
4.4	Propuesta de modelo socio-hidrogeológico.....	47

4.5	Análisis de resultados	49
CAPÍTULO 5		51
5.	Conclusiones y Recomendaciones	51
5.1	Conclusiones	51
5.2	Recomendaciones	53
BIBLIOGRAFÍA		54
APÉNDICES.....		58

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ETP	Potencial de Evapotranspiración
IAP	Investigación-acción participativa
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
JAAP	Junta Administradora de Agua Potable
JAAPR	Junta Administradora de Agua Potable Regional Valdivia
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
RECLA	Reserva Ecológica Comunal
SEVs	Sondeos Eléctricos Verticales
SNI	Sistema Nacional de Información del Ecuador
TDS	Total de sólidos disueltos
TULSMA	Texto Unificado de legislación Secundaria de Medio Ambiente

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetros
m	Metros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
$\mu\text{S/cm}$	Micro-Siemens/centímetros
ohm.cm	Ohmios por centímetros
mg/L	Miligramos/litros
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. 1. Ubicación de la cuenca del río Valdivia.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1. 2. Columna estratigráfica de la Península de Santa Elena.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. 1. Esquema ilustrativo de las partes que conforman un acuífero.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. 2. Diferencia entre sistema hidrológico y sistema socio-hidrológico.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. 3. Esquema conceptual de las relaciones de la socio-hidrología.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3. 1. Esquema metodológico.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. 2. Proceso en GIS, para la delimitación de una cuenca hidrográfica.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3. 3. Recorrido preliminar por la cuenca del río Valdivia junto al personal de la JAAPR-Valdivia.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. 4. Mapa de ubicación de los pozos en la cuenca del río Valdivia.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. 5. Medición de parámetros físico-químicos en pozos.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. 6 Mapa geológico de la cuenca del río Valdivia con la ubicación de los SEVs.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3. 7. Método de Schlumberger para realizar SEVs.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3. 8. Equipo geoelectrico para realización de SEVs.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3. 9. Integración de metodología propuesta.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3. 10. Propuesta de modelo socio-hidrogeológico.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4. 1 Clasificación de la cuenca hidrográfica del río Valdivia.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4. 2 Precipitaciones del período de Enero-Mayo de los años 2019, 2020 y 2021, de la cuenca del río Valdivia, tomados de la estación meteorológica El Suspiro (código: M0245).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4. 3 Precipitaciones del período de Junio-Diciembre de los años 2019 y 2020, de la cuenca del río Valdivia, tomados de la estación meteorológica El Suspiro (código: M0245).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4. 4 Ubicación de perfiles de SEVs en la cuenca del río Valdivia.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4. 5 Correlación de columnas litológicas de los SEV-03 y SEV-04.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4. 6 Correlación de columnas litológicas de los SEV-08 y SEV-02.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4. 7 Correlación de columnas litológicas de los SEV-05 y SEV-07.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4. 8 Modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero de la cuenca del río Valdivia.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4. 9 Correlación de los sondeos verticales tomados en campo.....</i>	<i>45</i>

Figura 4. 10 Resultado de la actividad de FODA elaborado en conjunto con representantes de las comunas que integran a la JAAPR-Valdivia.....47

Figura 4. 11 Propuesta de modelo socio-hidrogeológico aplicado a la gestión sostenible del agua en la cuenca hidrográfica del río Valdivia (Santa Elena-Ecuador).48

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2. 1 Tipos de Acuíferos</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3. 1 Precipitaciones y temperaturas mensuales de la estación M0245.</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3. 2 Guía registros de datos de los pozos.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3. 3 Herramientas empleadas en los SEVs.</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3. 4 Plantilla empleada para registrar los SEVs y datos del Sondeo 2-Mayo.</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4. 1 Registros de datos de los pozos ubicados dentro de la cuenca del río Valdivia.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4. 2 Parámetros referenciales para evaluar la calidad del agua.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4. 3 Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-03 y SEV-04.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4. 4 Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-08 y SEV-02.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4. 5 Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-05 y SEV-07.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4. 6 Rango de valores de resistividad según su litología.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4. 7 Características hidrogeológicas.....</i>	<i>42</i>

CAPÍTULO 1

1. Introducción

1.1 Generalidades

La escasez de agua dulce es un tema actual, varios países del mundo (sobre todo los desérticos) viven este problema. Buscar solución a la escasez de agua dulce se ha vuelto crucial para los seres humanos. Los ríos, lagos y estanques de agua dulce están escaseando debido a los cambios climáticos, la contaminación ambiental y a la sobreexplotación (Fluence, 2017). El ser humano sin agua dulce, difícilmente puede sobrevivir debido a que los sectores productivos, económicos, sociales y ambientales dependen de este líquido vital.

En Sudamérica, la presencia del fenómeno de La Niña agrava la situación, al provocar escasez de precipitaciones. Dejando a su paso pérdidas millonarias en el sector agrícola, y comunidades enteras sin líquido vital para su uso cotidiano (Mera & Guamán, 2019). Uno de los países sudamericanos, donde ocurren estos procesos, es el Ecuador, específicamente en la región costa. La provincia de Santa Elena presenta problemas de escasez de agua en la mayoría de las comunas. Por ello, es necesario mejorar la administración de los recursos hídricos en las comunidades que presentan esta problemática.

1.2 Descripción del problema

Santa Elena se caracteriza por ser una de las provincias de la costa ecuatoriana con un clima que oscila entre árido-semiárido, lo cual no beneficia a sus problemas de escasez de agua dulce (Mera & Guamán, 2019). Esta provincia posee comunidades que se encuentran gravemente afectadas por la falta de agua, como es el caso de las comunidades aledañas al río Valdivia.

Las comunas de Valdivia, San Pedro, Sinchal, Barcelona y Carrizal, al ubicarse en la cuenca media y baja del río Valdivia, se ven perjudicadas por la falta de precipitaciones. La época de estiaje se afecta al nivel de agua del río, reduciendo su caudal hasta el punto de secarlo totalmente. En ocasiones, la presencia de leves lloviznas provoca que el río solo se recargue en la zona alta de la cuenca, satisfaciendo paupérrimamente las necesidades de las comunas

ubicadas en este sector (comuna Loma Alta). La Junta Administradora de Agua Potable Regional Valdivia (JAAPR-Valdivia), se encarga del manejo y el abastecimiento de agua de las comunas de: Sinchal, Barcelona, Valdivia, San Pedro y Carrizal. En épocas de sequías, la JAAPR-Valdivia se abastece por medio del bombeo y extracción de agua del acuífero, ubicado en la cuenca del río Valdivia.

Estas comunidades utilizan los recursos hídricos para el i) desarrollo turístico, ii) desarrollo agropecuario y iii) satisfacción de necesidades básicas. En el caso del agua para consumo humano, la junta posee un registro del volumen utilizado. Sin embargo, no cuentan con un control exacto del agua utilizada para uso agropecuario y el agua que es vendida por tanqueros, lo que dificulta conocer la cantidad exacta de agua que la comunidad necesita.

Vale recalcar que los seres humanos son parte del ciclo hidrológico, ya que ellos pueden alterarlo y condicionarlo. Para poder solucionar el problema de escasez de recursos hídricos es importante integrar a la comunidad (sistema social) con los procesos de sostenibilidad del agua (sistema hidrológico), más el cuidado y preservación del medio ambiente (sistema ecológico), y un mayor control de la cantidad de consumo de agua por parte del sector agrícola (sistema económico). Por ello, se plantea la siguiente interrogante: ¿Se puede generar un modelo participativo socio-hidrogeológico, que permita el uso sostenible del agua y fomente el crecimiento del desarrollo agropecuario y turístico en las comunidades aledañas al río Valdivia?

1.3 Justificación del problema

El proyecto pretende crear un modelo socio-hidrogeológico adaptado a las necesidades de las comunidades aledañas al río Valdivia. Debido al déficit de recursos hídricos en la zona, se plantea este modelo para mejorar la administración y calidad de agua. Con un enfoque de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente, a través de la implementación de algunos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). “Hambre cero” (ODS2), que plantea mejorar el consumo de agua para el uso agrícola mediante la implementación de un control sostenible de los recursos hídricos, con la finalidad de potencializar la productividad agrícola. “Salud y Bienestar” (ODS3) “, llevando un registro continuo de la calidad de agua empleada para uso cotidiano en la zona

mediante la medición de parámetros físicos y químicos, de los pozos y del agua del río Valdivia. “Agua limpia y saneamiento” (ODS6), se plantea la integración de la comunidad al sistema hidrológico por medio de charlas y capacitaciones, con la finalidad de generar una gestión integrada de los recursos hídricos de la zona. “Trabajo decente y crecimiento económico” (ODS8), se busca que el sector turístico mejore su desarrollo económico aplicando un control sostenible del agua. “Acción por el clima” (ODS13) y a la “Vida de ecosistemas terrestres” (ODS15) que buscan diseñar planes o estrategias integradas con la finalidad de dar resiliencia en la comunidad ante los efectos desfavorables del cambio climático y salvaguardar los sistemas ecológicos que rodean a la Cuenca del río Valdivia.

El modelo busca ayudar a la Junta Administradora de Agua Potable Regional Valdivia (JAAPR-Valdivia) en su gestión de recursos hídricos, quién en su rol como empresa comunitaria se encarga de la administración y manejo de la cuenca media y baja del río Valdivia. Abasteciendo de agua a las comunas de Valdivia, San Pedro, Sinchal, Barcelona y Carrizal, a través de la extracción de agua del acuífero y del río Valdivia, por medio de bombeo de los pozos ubicados en la cuenca. Estas comunas han dejado de utilizar el agua del río Valdivia, debido a que este se encuentra afectado por el fenómeno de La Niña, dejando como resultado al río totalmente seco. Por esta razón, el acuífero se encuentra en un estado vulnerable, ya que sin precipitaciones no puede recargarse y con la constante explotación que sufre, podría provocar un daño irreversible.

Por ello, se plantea un “modelo socio-hidrogeológico aplicado a la gestión sostenible del agua en una cuenca hidrográfica”, como una solución a los problemas de escasez de recursos hídricos que sufren las comunas de la Cuenca media y baja del río Valdivia. Dicho modelo se regirá en base a lo establecido en el Art. 36 de la constitución de la República del Ecuador del 2014 Sección III “Gestión y administración de los recursos hídricos”:

El Estado y sus instituciones en el ámbito de sus competencias son los responsables de: a) Promover y garantizar el derecho humano al agua; b) Promover y fortalecer la participación en la gestión del agua de las organizaciones, consumidores de los sistemas públicos y comunitarios del agua. (Ley de Aguas, 2014, p.7)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar las condiciones naturales y antrópicas de la cuenca del río Valdivia, mediante la generación de un modelo socio-hidrogeológico para el desarrollo de actividades productivas en un ámbito de sostenibilidad.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Analizar las interacciones de la sociedad con los recursos hídricos, mediante revisión de base de datos de estudios previos en Valdivia y visitas de campo para el reconocimiento de las variables que integran al modelo socio-hidrogeológico.
2. Presentar las características hidrogeológicas del sistema río-acuífero en la cuenca del río Valdivia, por medio del procesamiento y correlación de datos de SEVs y el uso de GIS, para la estimación del modelo conceptual inicial del acuífero.
3. Establecer una zonificación territorial-social para la gestión sostenible del agua y sus aplicaciones productivas, a través del planteamiento de mejoras en la administración de los recursos hídricos y la integración de la comunidad en el sistema socio-hidrogeológico mediante actividades participativas.

1.5 Delimitación de la zona de estudio

1.5.1 Descripción geográfica y geomorfológica

La cuenca del río Valdivia se encuentra ubicada al noroeste de la provincia de Santa Elena, dentro de las parroquias: Manglaralto y Colonche (Figura 1.1). La cuenca del río Valdivia ocupa un área alrededor de 164.52 kilómetros cuadrados, limitado por los cerros Sombrero, La Torre y Guachineas, con un recorrido de 28 kilómetros aproximadamente (Jiménez et al., 2011). La cuenca se encuentra dividida en tres zonas, las cuales son cuenca alta, media y baja. La cuenca alta comprende la comuna de Loma Alta y su Reserva Ecológica Comunal (RECLA), mientras que la cuenca media se localizan las comunas de Barcelona, Carrizal y Sinchal, terminando con la cuenca baja en las comunas de Valdivia y San Pedro

(Astudillo-Sánchez et al., 2019). Gracias a la pendiente y morfología de la cuenca, el río Valdivia cuenta con un drenaje rápido. El trayecto del río comprende de 28 kilómetros aproximadamente, pendientes muy pronunciadas y altitudes que van hasta los 830 msnm (sector de Loma Alta) (Jiménez et al., 2011).

La zona se caracteriza por tener un clima semiárido o semidesértico en los sectores de la cuenca media y baja, mientras que en la cuenca alta el clima varía de semiárido a húmedo, debido al bosque de la RECLA (Astudillo-Sánchez et al., 2019). La RECLA se caracteriza por generar garúa (de julio a noviembre), ya que gracias a su microclima puede hacer precipitar el agua evaporada del mar, lo que beneficia a las comunidades que se encuentran en su sector (Astudillo-Sánchez et al., 2019). Sin embargo, la cuenca media y baja, no cuenta con esa acción climática, por lo que tienden a sufrir de sequías en épocas del fenómeno de La Niña.

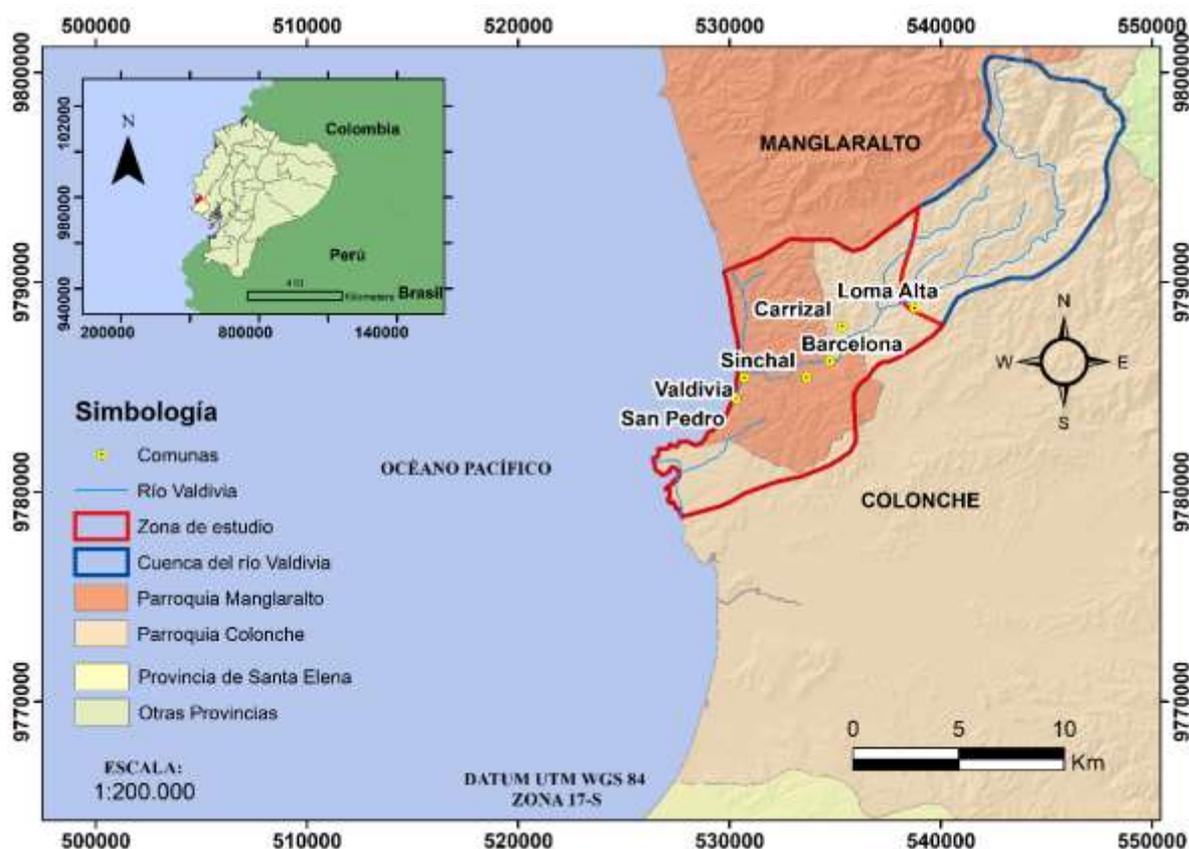


Figura 1. 1. Ubicación de la Cuenca del río Valdivia

Elaborado con datos del: (SNI, 2019)

1.5.2 Descripción geológica

La costa ecuatoriana se originó por procesos geodinámicos de una zona de antearco que se formó debido a un alto tectonismo y actividad volcánica en la edad del Paleógeno (Benítez, 1995). La generación de la gran variedad de relieves ocurrió sincrónicamente junto a la formación de la cadena montañosa de los Andes, dejando como resultado una diversidad morfoestructural en el país. Se destacan estructuras como la cordillera de los Andes (volcano-metamórfica) y la cordillera costanera (volcano-sedimentaria), formando cuencas sedimentarias tanto en la región costa como en la amazónica (Jaillard et al., 1995). Durante el Paleógeno, las cuencas sedimentarias costeras se rellenaron de sedimentos marinos (intercalaciones de conglomerados, areniscas, limos y arcillas) a través de procesos de transgresión y regresión del mar (Jaillard et al., 1995). Por lo que, debido a la gran extensión que tiene la cuenca costera, se la repartió en cuatro subcuencas: Cuenca Manabí y Borbón, Golfo de Guayaquil y la Cuenca Progreso.

Luego de conocer cómo se originó la costa ecuatoriana, se puede comprender de manera más factible la geología de la provincia de Santa Elena, la cual se caracteriza por poseer un basamento conformado por las formaciones Piñón (Volcánica-Cretácea) y Cayo (Sedimentaria marina) (Benítez, 1995) (Figura 1.2.). En el Cretáceo Superior se depositó la formación Santa Elena sobre la formación Cayo. Luego, durante el Paleoceno al Eoceno medio, se depositó con disposición discordante la formación San José, actuando como base del grupo Azúcar. Por otro lado, en el Eoceno Inferior se depositó la formación Atlanta la cual subyace a la formación Passage Beds asentada durante el Eoceno Medio (Jaillard et al., 1995). Por consiguiente, se tiene registro de la deposición del grupo Ancón durante el Eoceno Medio al Superior, siguiendo una secuencia estratigráfica ascendente: tomando como base a la formación Santo Tomás, precedida por una capa de Clay Pebble Beds, terminando con la deposición de la formación Seca. Debido a que en el Oligoceno, Mioceno y parte del Plioceno no se ha encontrado evidencia de sedimentación. Se puede afirmar que el paquete estratigráfico pudo haberse erosionado.

Dando como resultado el emplazamiento discordante de las rocas del Cuaternario sobre las rocas del Terciario, como es el caso de la formación El Tablazo y el aluvión (Benítez, 1995).

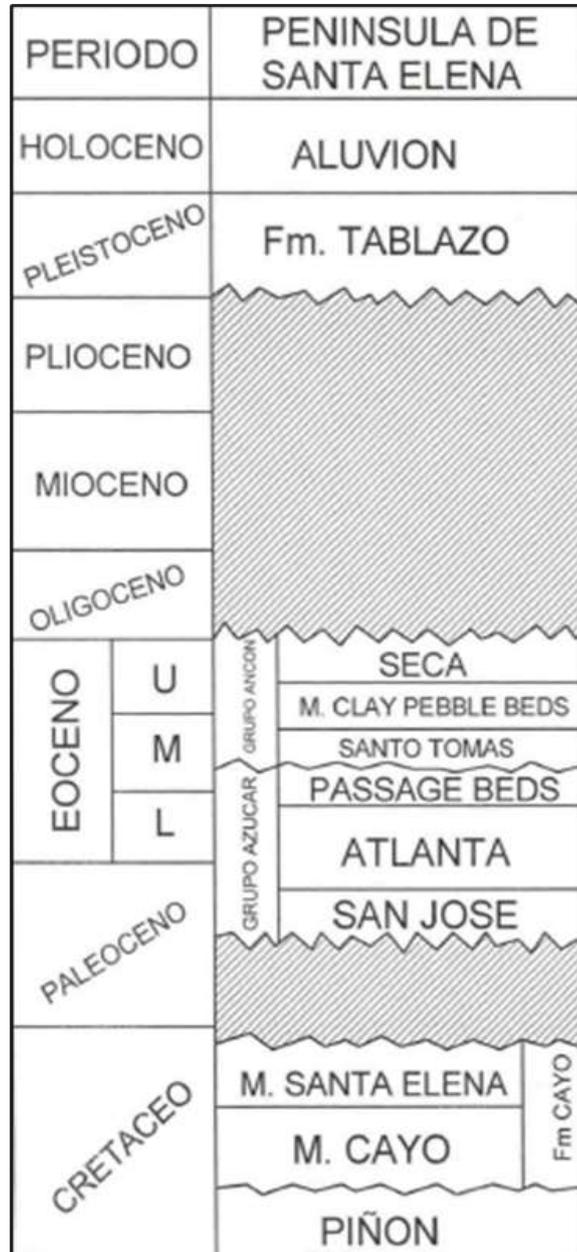


Figura 1. 2. Columna estratigráfica de la Península de Santa Elena.

Elaborado por: (Núñez del Arco E., 2003)

Grupo Ancón

El grupo Ancón, se caracteriza por tener dos unidades estratigráficas: formaciones Socorro y Seca:

La formación Socorro con una edad de Eoceno Medio-Superior, con afloramientos en la zona de Ancón-Santa Elena (Núñez del Arco E., 2003).

Esta formación se encuentra conformada por dos miembros los cuales son:

- Clay Peble Bebs: Brechas sedimentarias con fragmentos de guijarros de: chert, cuarzos, arcillas, conglomerados, calizas y rocas ígneas, adheridos a una matriz arcillosa con tonalidades verdes grisáceas (Núñez del Arco E., 2003).
- Socorro: presencia de deformaciones sin-genéticas, formando un flysch con intercalaciones de secuencias turbidíticas y areniscas finas (Núñez del Arco E., 2003).
- La formación Seca con una edad de Eoceno Superior, se puede encontrar sus afloramientos dentro de la cuenca de Ancón. Caracterizada por poseer dos miembros, los cuales son:
- Miembro Lutitas Seca: presencia de areniscas, lutitas turbidíticas y lutitas con tonalidades pardo-amarillentas, depositada sobre la formación Socorro (Núñez del Arco E., 2003).
- Miembro Arenisca Punta Ancón: intercalaciones de: areniscas, arcillas, conglomerados, lutitas interestratificadas y estratos calcáreo, con disposición discordante sobre el miembro Lutitas Seca (Núñez del Arco E., 2003).

Formación Tosagua

Se originó por procesos transgresivos del mar, precedida por una sedimentación circa-litoral. Esta formación se encuentra constituida por los miembros: Zapotal, Dos Bocas y Villingota.

El miembro Zapotal es de edad del Mioceno inferior, depositado de forma discordante al grupo Ancón y conformado por estratos de espesores variables (decimétricos a pluridecimétricos); posee intercalaciones de limolitas con areniscas y en su base contiene capas de conglomerados-guijarros (Núñez del Arco E., 2003).

El miembro Dos Bocas pertenece al Mioceno Inferior, conformado por lutitas limosas con tonalidades grisáceas, que al ser intemperizadas toman tonalidades chocolate (Núñez del Arco E., 2003).

Finalmente, el miembro Villingota con una edad del Mioceno Inferior al Medio conocido por ser el techo de la formación Tosagua, se caracteriza por poseer una rica microfauna bentónica y plantónica, con una litología conformada por lutitas laminadas (diatomáceas con tonalidades grisáceas) (Núñez del Arco E., 2003).

Formación Tablazo

La formación Tablazo tiene una disposición discordante a los estratos del grupo Ancón. Marchant en el año de 1961, dividió a la formación en cuatro niveles, los cuales son:

- El primer nivel con una edad del Pleistoceno Inferior (conformado por sedimentos de lumaquelas característicos de un ambiente salobre) (Marchant, 1961).
- El segundo nivel perteneciente al Pleistoceno Medio (con un alto contenido de: estratos de areniscas finas a medias, rocas calcáreas y con lentes conglomeráticos) (Marchant, 1961).
- El tercer nivel con una edad del Pleistoceno Superior (compuesto por estratos de areniscas finas a medias, con fragmentos calcáreos, gravas y conchas) (Marchant, 1961).
- El cuarto nivel perteneciente al Holoceno (conformado por depósitos marinos, es el nivel más reciente) (Marchant, 1961).

Depósitos aluviales

Presentan afloramientos a lo largo de toda la cuenca del río Valdivia, con potencias variables de 5 hasta 30 metros. Se caracteriza por ser uno de los depósitos más recientes, ya que pertenece al Cuaternario. Está conformado por una variedad de arenas, gravas e incluso arcillas; que se depositaron por medio de las corrientes generadas en los ríos y esteros (Núñez del Arco E., 2003).

CAPÍTULO 2

2. Marco teórico

Los modelos socio-hidrológicos, son de gran importancia para comprender las interacciones que existen entre los sistemas hidrogeológicos y la comunidad que los rodea, por lo que es imperativo comprender los términos mostrados a continuación:

2.1 Cuenca hidrográfica.

Las cuencas hidrográficas son consideradas como sistemas biofísicos, los cuales delimitan la superficie terrestre que drena el agua y los sedimentos, transportados por el agua que desembocan en un canal, lago o un río definido por límites topográficos. Su función principal es transformar la precipitación en redes hidrográficas, las cuales en su mayoría pueden llegar hasta los océanos. Por lo que, las cuencas hidrográficas son los sistemas que se utilizan para estudiar el ciclo hidrológico y ayudan a comprender cómo las actividades humanas influyen en los componentes del ciclo hidrológico (Brook et al., 2003).

2.2 Hidrometeorología.

La hidrometeorología es una composición de criterios y técnicas aplicadas para el uso de datos y el análisis meteorológico enfocado en el área de la hidrología. Es decir, es la encargada del estudio de la atmósfera, el balance hídrico y de las fases del ciclo hidrológico (Peck ,1978). La hidrometeorología busca establecer relaciones entre las variables meteorológicas y las precipitaciones máximas, con la finalidad de emplearlos en la generación de posibles soluciones ante desastres naturales, como lo son: diseño estructuras de control de inundaciones (como presas, embalses) y diseño de estructuras de represamientos para mitigar efectos de la sequía (diques albarradas) (Britannica, 1998).

2.3 Balance hídrico del suelo

El balance hídrico del suelo se basa en el principio de conservación de masa, el cual implica que el agua que ingresa a un área específica, como por ejemplo una cuenca hidrográfica, debe ser igual al agua que sale de la misma recalando que este análisis se efectúa en un determinado tiempo. Una de sus

utilidades principales es la de evaluar las condiciones actuales de los recursos hídricos, para poder establecer estrategias adecuadas para la gestión del agua, su manejo y protección (Water Balance Estimation, 2019). Dentro del análisis del balance hídrico del suelo de una cuenca hidrográfica, es crucial tomar en cuenta dos aspectos: la demanda de agua y su capacidad de recarga.

En las costas ecuatorianas, la mayoría de sus cuencas hidrográficas sufren de sequías sobre todo en épocas del fenómeno de La Niña, lo que implica que los ríos que conforman las redes hidrográficas comienzan a escasear de agua, debido a la baja capacidad de recarga que estos poseen. Por lo que varias comunidades optan por utilizar el agua subterránea para poder abastecerse, sin embargo una mala gestión de la explotación de este recurso puede generar que el acuífero costero pierda su balance hídrico (haciendo que la demanda sea mayor que su capacidad de recarga), provocando la destrucción de este. Por ello es importante la realización de análisis de balance hídricos del suelo, para llevar un mayor control de los recursos hídricos.

2.4 Hidrogeología

La hidrogeología se encarga de reconocer y analizar las interacciones de los procesos y materiales geológicos con el agua en la corteza terrestre. Es decir, estudia el origen, la distribución, el movimiento, las características y propiedades que posee el agua subterránea (Fetter, 2018).

El agua subterránea, es toda el agua que se localiza debajo de la corteza terrestre. Generalmente es formada por infiltración del agua en el subsuelo, esta agua puede ser de origen superficial o por precipitaciones en la superficie terrestre. El agua subterránea se encuentra en dos zonas (Figura 2.1): la zona no saturada, la misma que se localiza cercana a la superficie terrestre, se caracteriza por tener agua y aire en los espacios abiertos o poros, por otro lado se tiene a la zona saturada, en esta zona las fracturas y poros se encuentran totalmente llenos de agua, subyace a la zona no saturada y en su parte superior se encuentra el nivel freático. El nivel freático puede tener poca o mucha profundidad, y puede subir o bajar dependiendo de diversos factores. El área donde la zona saturada almacena el agua subterránea se conoce como acuífero (Groundwater Foundation, 2018).

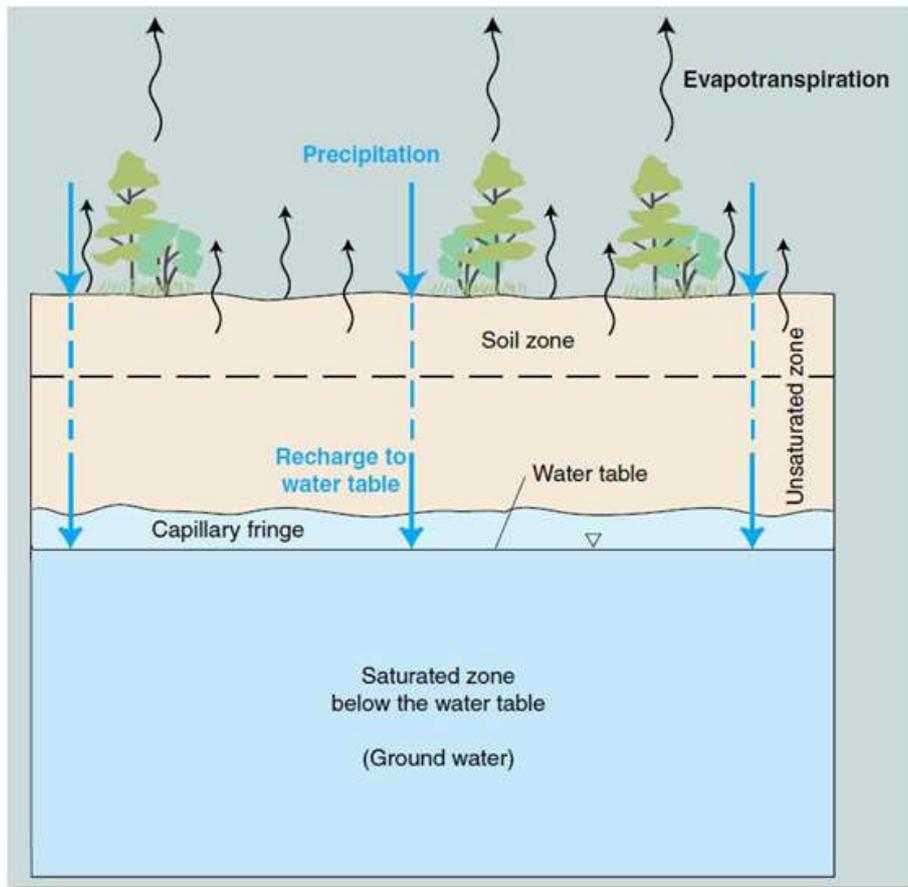


Figura 2. 1. Esquema ilustrativo de las partes que conforman un acuífero

Elaborado por: (USGS, 2018).

2.5 Acuíferos.

Los acuíferos generalmente se encuentran formados por grava, arena, arenisca o roca fracturada. El agua dentro del acuífero tiene una facilidad de movilidad a través de estos materiales, debido a que poseen grandes poros que se encuentran interconectados que los vuelven permeables. Esta agua llega a la superficie de dos formas: naturalmente a través de un manantial o también pueden descargarse en lagos o arroyos, o se puede extraer artificialmente a través de la elaboración de un pozo perforado sobre el acuífero. Este pozo extrae el agua por medio de tuberías y una bomba hacia la superficie (el uso de una bomba depende del tipo de acuífero) (Groundwater Foundation, 2018).

2.5.1 Tipos de acuíferos

Los tipos de acuíferos pueden variar según su tipo de estructura y materiales que lo conforman. A continuación en la Tabla 2.1 se describen los tres principales tipos de acuíferos:

Tabla 2. 1 Tipos de Acuíferos, Elaborado por: (Salako & Adepelumi, 2018)

Tipo de acuífero	Descripción
Libre	Los acuíferos libres son aquellos que se encuentran generalmente cercanos a la superficie terrestre, no poseen capas de material impermeable sobre su límite superior (nivel freático) , en este tipo de acuífero es necesario la creación de un pozo con bombas para extraer agua a la superficie.
Confinado	Los acuíferos confinados se caracterizan por estar conformados por dos capas de rocas impermeables tanto en su parte superior e inferior, generalmente formadas de arcillas, provocando que el agua en su interior se encuentre bajo una presión superior a la presión atmosférica, lo cual facilita su extracción a la superficie sin necesidad de bombear el agua.
Semiconfinado	Los acuíferos semiconfinados, están conformados tanto por una capa semipermeable en su parte superior, como de una capa semipermeable o impermeable en su parte inferior, lo cual provoca una baja circulación de agua.

2.6 Acuíferos costeros.

Los acuíferos costeros se caracterizan por estar ubicados en zonas subsuperficiales a la costa, en estas zonas suelen estar en contacto tanto con el agua subterránea continental (agua dulce) y el agua de mar (intrusión salina). Se encuentran compuestas por diversos tipos de rocas, como las rocas calizas karsificadas, rocas fracturadas y arenas no consolidadas. El espesor de su capa alcanza un tamaño desde pocos metros hasta más de un kilómetro (Post V.,2005).

Los acuíferos costeros son reconocidos por su capacidad de actuar como fuente principal de abastecimiento de agua dulce en un sin número de países alrededor del mundo, sobre todo en zonas áridas y semiáridas, en donde los recursos hídricos son muy escasos. Además, las zonas costeras en su mayoría se encuentran muy pobladas lo cual aumenta la demanda de agua dulce aumente. Los acuíferos son muy sensibles a las alteraciones, por lo que una mala gestión de este recurso vital en una zona costera puede provocar su destrucción, ya que los acuíferos costeros se encuentran expuestos a sufrir intrusión marina debido a que se encuentra en contacto con el agua de mar(Beer et al., 1999).

2.7 Socio-Hidrogeología

La socio-hidrogeología es una nueva ciencia, que tiene como objetivo establecer una relación entre las personas y el agua, por medio del análisis de su comportamiento y coevolución (Sivapalan et al., 2012). Cuando se estudia la hidrología tradicional, se considera al ciclo del agua como un sistema aislado de las actividades humanas, cuando por el contrario las interacciones de los humanos con el agua pueden alterar al ciclo del agua, provocando por ejemplo: sobreexplotación, contaminación, entre otras afectaciones. Por lo que con la socio-hidrogeología se busca considerar que las acciones de los seres humanos son parte integral del desarrollo del ciclo del agua, con la finalidad de lograr predecir la dinámica entre ambos (Sivapalan et al., 2012). En la Figura 2.2, mostrada a continuación se esquematiza la diferencia que existe entre un sistema hidrológico (tradicional) y un sistema socio-hidrológico o socio-hidrogeológico:

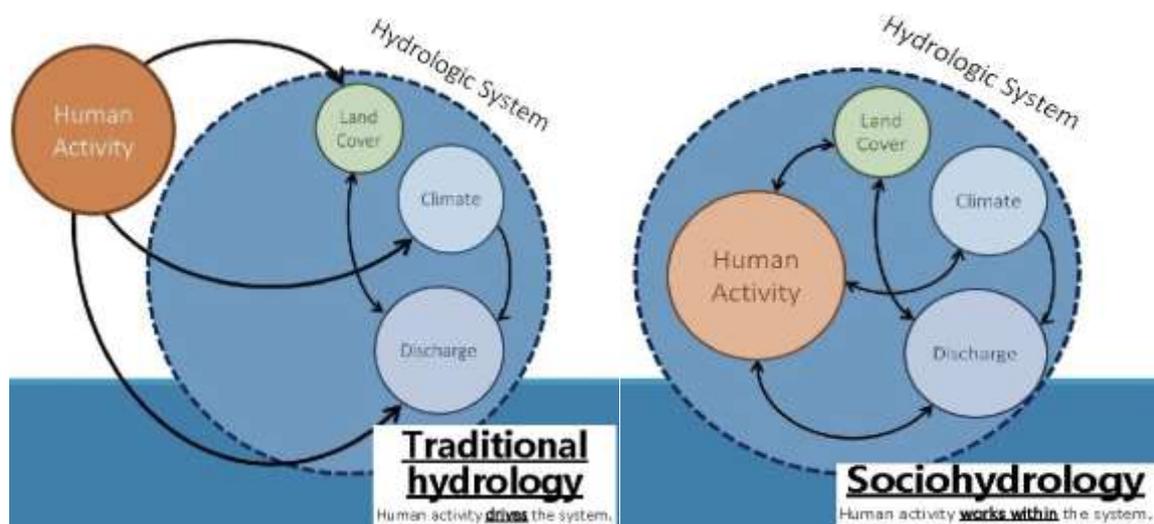


Figura 2. 2. Diferencia entre sistema hidrológico y sistema socio-hidrológico.

Elaborado por: (Güneralp & Güneralp, 2015).

Los objetivos de la socio-hidrogeología, se enfocan en desarrollar las siguientes áreas: a) socio-hidrogeología histórica (conocer y estudiar el pasado); b) socio-hidrogeología comparativa (comparar y examinar los distintos sistemas hídricos-sociales); y c) proceso socio-hidrogeológico (comprender los sistemas hídricos-sociales existentes con la finalidad de poder estimar posibles trayectorias en el futuro) (Sivapalan et al., 2012).

Actualmente, la mayoría de los estudios aplicados sobre la socio-hidrogeología se basan en las dos primeras áreas mencionadas, debido a la complejidad que existe en los análisis de predicción (Madani & Shafiee-Jood, 2020). Por ende, las correlaciones históricas y los datos recopilados por medio de encuestas son cruciales para poder plantear una hipótesis que explique las interacciones pasadas de los sistemas socio-hidrogeológicos previamente estudiados (Madani & Shafiee-Jood, 2020).

Para comprender el comportamiento general de un sistema socio-hidrogeológico general, es fundamental establecer la estructura y la dinámica de los subsistemas. Siendo la dinámica de los subsistemas (relaciones causas-efectos), la encargada de definir un marco único para poder incorporar los diferentes sistemas físicos y sociales, que intervienen en la gestión de los recursos hídricos (Sterman, 2000). Dependiendo de la zona de estudio se pueden establecer los subsistemas que intervienen en el sistema socio-hidrogeológico existente, generalmente son: a) sistema hidrogeológico

(recursos hídricos existentes y utilizados en la zona de estudio); b) sistema ecológico (zonas de cubierta vegetal protegidas, reservas naturales); c) sistema económico (principales fuentes de ingresos en la zona, como: agricultura, pesca o turismo); y d) sistema social (la población que habita en la zona e interactúa con los recursos hídricos) (Liu et al., 2015).

La Figura 2.3, muestra como la socio-hidrología se encuentra relacionada con otras ciencias y como esta influye para la toma de decisiones ante las problemáticas de recursos hídricos (Herrera et al., 2021):

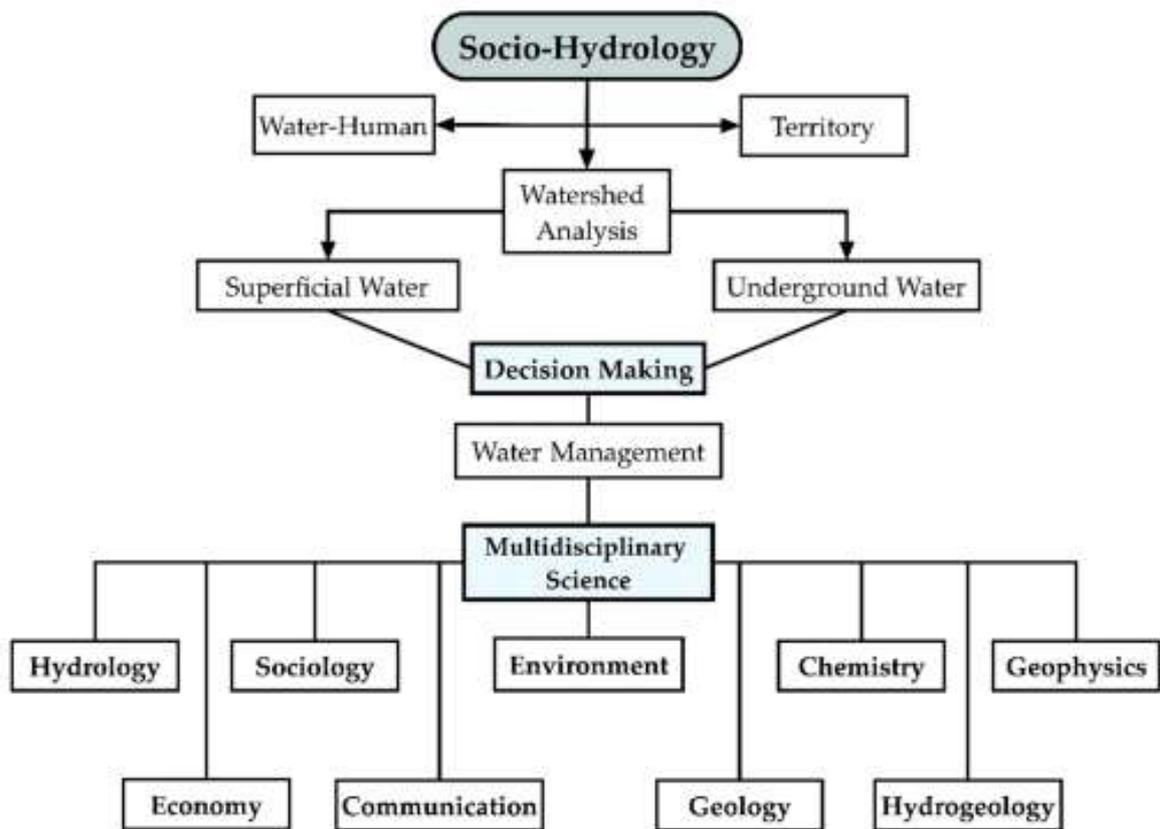


Figura 2. 3. Esquema conceptual de las relaciones de la socio-hidrología.

Elaborado por: (Herrera et al., 2021)

CAPÍTULO 3

3. Metodología

La metodología del presente proyecto se distribuyó en cuatro fases: análisis de información, análisis hídrico, correlación y procesamiento de datos, y resultados. En el flujograma mostrado en la Figura 3.1, se detalla cada una de las fases.

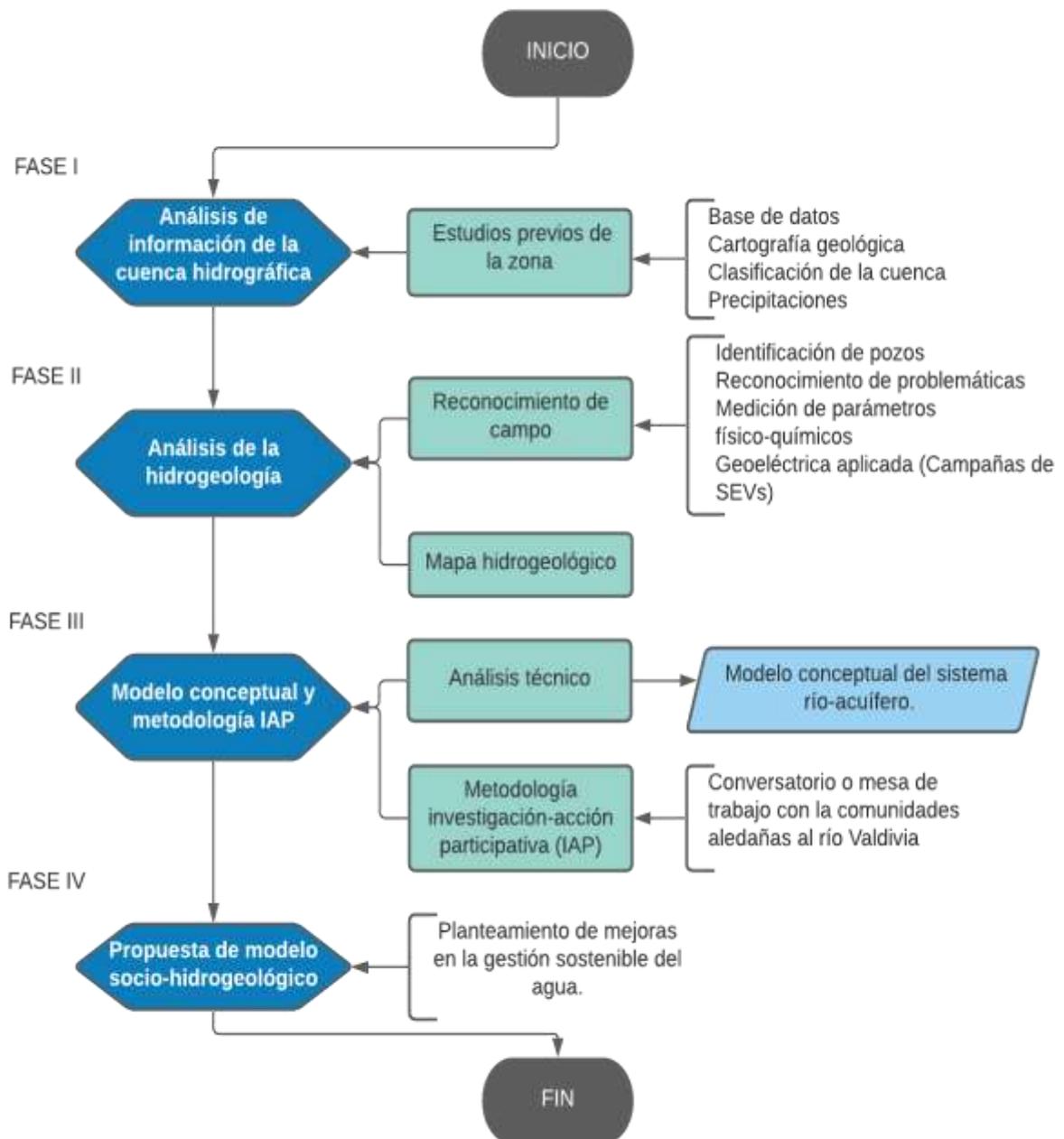


Figura 3. 1. Esquema metodológico.

3.1 Fase I: Información de la cuenca hidrográfica

La primera fase fue crítica para el desarrollo del proyecto y facilitó el planteamiento de la metodología para enfrentar a la problemática. Esta fase comprende la revisión literaria de estudios técnicos previos, publicaciones científicas, textos relacionados con el tema de estudio y proyectos de investigación, los cuales establecieron estrategias para el desarrollo de la metodología.

Además, se recopiló información temática de la zona de estudio como modelos digitales del terreno, cartografía geológica e hidrogeológica, tomados de la página de coberturas del Sistema Nacional de Información del Ecuador (SNI). La relación con el cliente la JAAPR-Valdivia, fue indispensable en esta fase para reconocer las diversas problemáticas que presentaban los pobladores del sector, también la junta contribuyó con la adquisición de la base de datos de estudios hídricos previos.

3.1.1 Clasificación de la cuenca hidrográfica

Dentro de la etapa 1, se procedió a delimitar a la cuenca hidrográfica mediante el recorrido preliminar de la zona, la utilización del modelo digital del terreno de Santa Elena y posterior procesamiento en GIS detallado en la Figura 3.2.

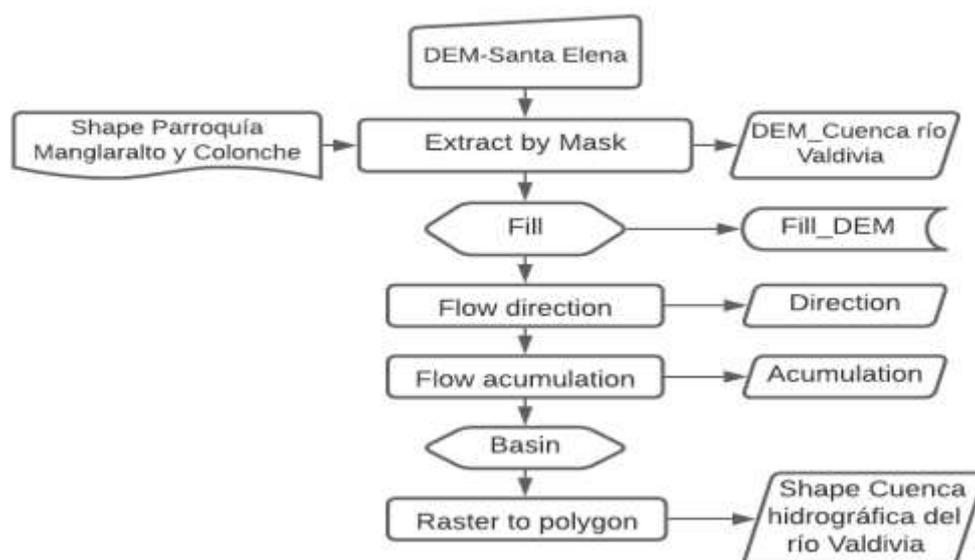


Figura 3. 2. Proceso en GIS, para la delimitación de una cuenca hidrográfica.

3.1.2 Precipitaciones y temperaturas diarias

Los valores de precipitaciones y temperaturas diarias de los últimos años fueron recopilados por medio de la estación meteorológica El Suspiro (código: M0245) (INAMHI, s. f.), ya que está se ubica dentro de la cuenca del río Valdivia. En la Tabla 3.1, se colocaron los valores de precipitaciones y temperaturas mensuales con la finalidad de facilitar la visualización de los datos. Además, para el análisis de las precipitaciones y temperaturas dentro de la cuenca, se estableció un rango que inicia desde el mes de enero del 2019 hasta el mes de mayo del 2021 (ya que en este periodo de tiempo el fenómeno de La Niña presento mayores afectaciones), con el objetivo de comprender como afecta el fenómeno de La Niña a la zona de estudio. Además, se incluyen las precipitaciones anuales desde el 2015 hasta el 2021 (Apéndice C).

Tabla 3. 1 Precipitaciones y temperaturas mensuales de la estación M0245.

Elaborado con datos de: (INAMHI, s. f.)

2019												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	1.50	51.60	18.40	0.20	0.00	0.00	0.00	138.30	0.20	0.00	1.70	0.50
Temperatura (°C)	28.32	29.18	30.10	29.37	28.56	27.43	24.71	23.38	23.70	23.77	25.14	25.76
2020												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	2.90	22.10	6.90	4.50	0.00	0.00	0.90	0.40	0.20	0.20	0.40	0.20
Temperatura (°C)	28.30	30.28	3.13	29.00	27.39	25.93	23.74	23.35	24.37	25.06	25.13	26.22
2021												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May							
Precipitación (mm)	8.90	1.00	199.30	4.70	10.00							
Temperatura (°C)	28.74	29.17	28.65	27.80	25.81							

3.2 Fase II: Análisis de la hidrogeología

La segunda fase consistió en el análisis de la hidrogeología de la cuenca del río Valdivia, mediante visitas de campo, medición de niveles de pozos, la aplicación de estudios geoeléctricos y la utilización del mapa hidrogeológico de la cuenca.

3.2.1 Reconocimiento de campo

Ubicación de pozos

Se realizó un recorrido junto al personal de la JAAPR-Valdivia (Figura 3.3), se procedió a geolocalizar pozos y diques que se ubican dentro de la cuenca del río Valdivia. Identificándose un total de 28 pozos; de los cuales 16 son pozos de uso agrícola, 2 pertenecen a la JAAP-“Loma Alta”, 1 pertenece a la JAAP-“La Unión”, 1 pertenece a la JAAP-“El Suspiro” y 8 pertenecen a la JAAPR-Valdivia. Asimismo, se localizaron 2 diques, que se ubican en los límites de la cuenca media-baja. Se elaboró un mapa de la ubicación de los pozos y diques (Figura 3.4) con la finalidad de comprender como funciona el sistema de distribución-extracción de agua y delimitar las partes de la cuenca.



Figura 3. 3. Recorrido preliminar por la cuenca del río Valdivia junto al personal de la JAAPR-Valdivia.

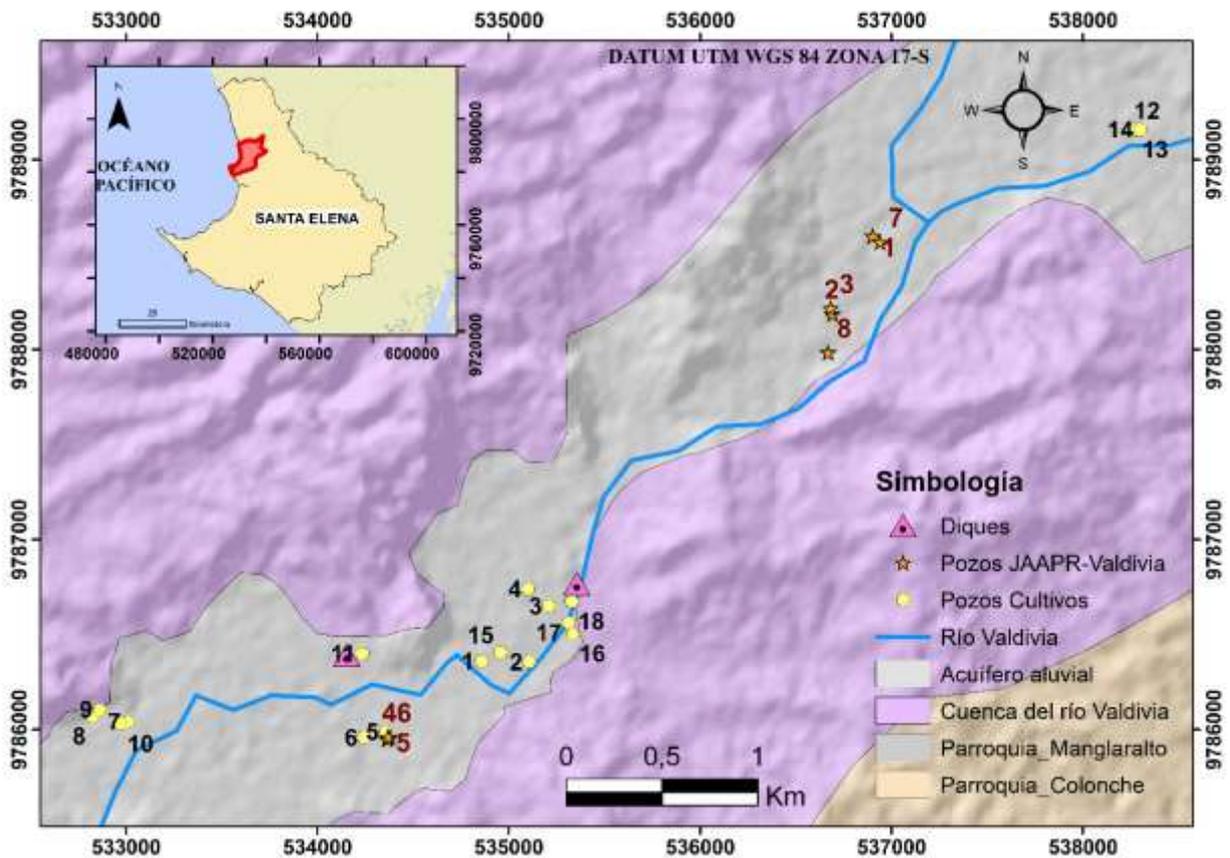


Figura 3. 4. Mapa de ubicación de los pozos en la cuenca del río Valdivia.

Medición de niveles piezométricos y parámetros físicos-químicos

La etapa 2 consistió en la medición de niveles piezométricos y parámetros físicos-químicos de los pozos ubicados dentro de la cuenca del río Valdivia, con la finalidad de conocer la calidad del agua extraída. Se obtuvieron registros de niveles estáticos, pH, conductividad, temperatura, resistividad, total de sólidos disueltos (TDS) y salinidad de los pozos (Figura 3.5). Los datos fueron tomados con un equipo de multiparámetros y posteriormente registrados en la Tabla 3.2. Es importante que las muestras recolectadas de los pozos se realicen con un recipiente que se encuentre limpio para evitar alteraciones en la toma de datos.

Tabla 3. 2 Guía registros de datos de los pozos.

Pozos	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Profundidad de pozo (m)	Nivel estático (m)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Resistividad (ohm.cm)	TDS (mg/L)	Salinidad (%)	Estado
1												
2												
3												
4												
5												



Figura 3. 5. Medición de parámetros físico-químicos en pozos.

Geoeléctrica aplicada

En la etapa 3, se realizó campañas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs) desde el noreste al suroeste de la cuenca centrándose en el río (Figura 3.6), con la finalidad de abarcar mayor área y mantener una relación de datos más precisa. Se efectuaron un total de 17 SEVs siguiendo el método de Schlumberguer (Figura 3.7), que consiste en colocar a una distancia de 215 metros a los electrodos externos (AB/2) y a 20 metros a los electrodos internos (MN/2), en donde se obtuvo la resistividad correspondiente a las capas del subsuelo por medio de la inyección de corriente a través de los electrodos. En la Tabla 3.3 se detallan las herramientas empleadas en la ejecución de sondeos.

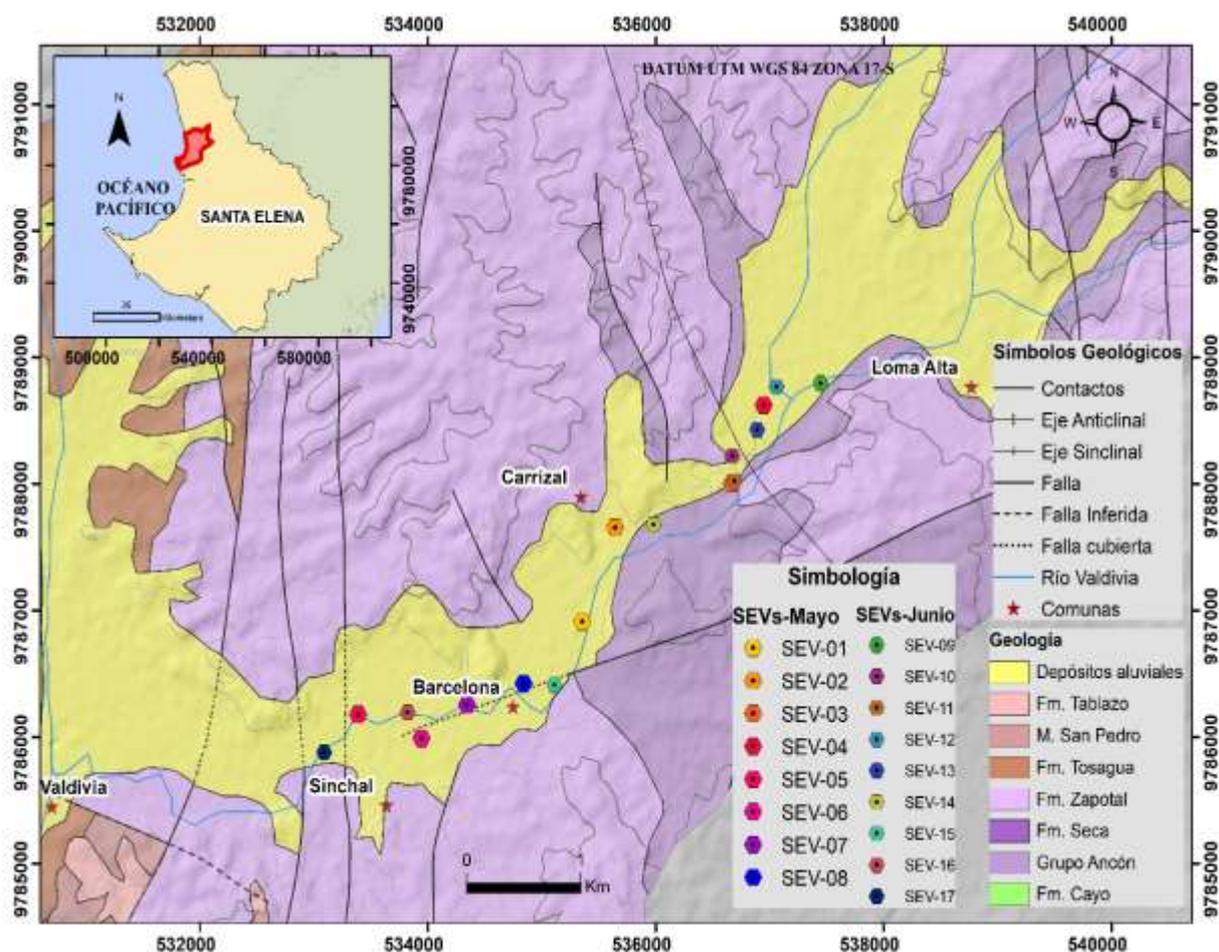


Figura 3. 6 Mapa geológico de la cuenca del río Valdivia con la ubicación de los SEVs.

Elaborado con datos del: (SNI, 2019) y (Hoja geológica 4- Manglaralto, 1974).

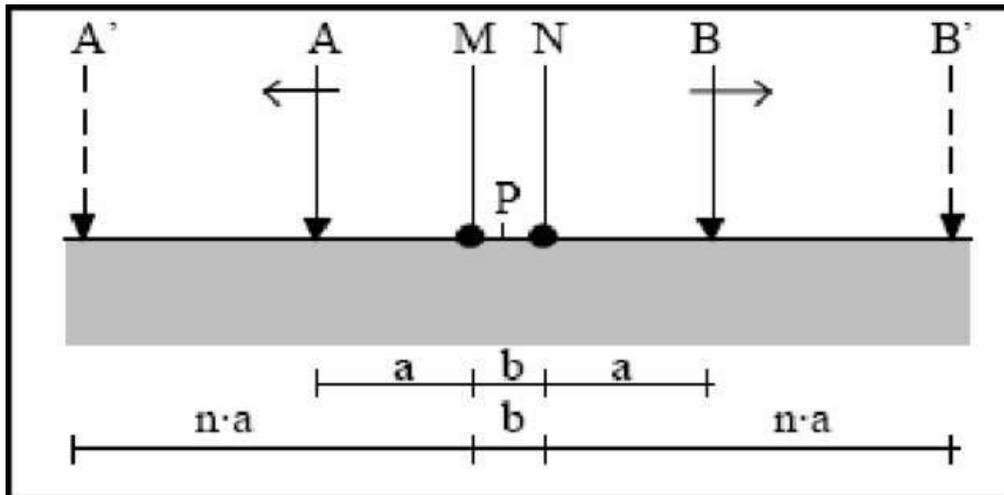


Figura 3. 7. Método de Schlumberger para realizar SEVs.

Elaborado por: (Gasulla, 1999)

Tabla 3. 3 Herramientas empleadas en los SEVs.

Equipos	Unidades
Batería	1
Carretes de cable con pinza	2
Cinta métrica	2
Combos	4
Electrodos	41
GPS	1
Pinzas de lagarto	1
Terrameter System	1

Uno de los pasos iniciales, la realización de los sondeos, consistió en buscar una zona con superficie uniforme, posteriormente se ubicó el centro del sondeo (ubicación Terrameter System) por medio de un electrodo que funcionará como el cero de las cintas métricas.

Por consiguiente, se extienden 215 metros hacia cada lado del centro, luego se empiezan a ubicar los 40 electrodos restantes en las posiciones establecidas tanto para las aberturas (AB/2) y (MN/2) (Figura 3.8). Para cada una de las aberturas se colocan 2 carretes de cables (los carretes de la abertura MN/2 se ubican delante del AB/2).

Seguidamente se colocan los cables en el primer punto de medición, conectando cuidadosamente al equipo los carretes internos y externos respectivamente. Para finalizar, se conecta por medio de las pinzas al Terrameter System con la batería. En la Tabla 3.4, se muestra el formato empleado para la recopilación de datos y los valores de resistividad del sondeo 2.



Figura 3. 8. Equipo geoelectrico para realización de SEVs.

Tabla 3. 4 Plantilla empleada para registrar los SEVs y datos del Sondeo 2-Mayo.

Elaborado por: (CIPAT, 2019)

CÓDIGO:	SEV02-VAL
FECHA:	29/05/2021
OPERADOR:	
COORDENADAS X:	535354
COORDENADAS Y:	9786910
COORDENADAS Z:	18

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	9143.7	68.94
2	1.47	0.2	16.66	4086.8	68.09

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K	496.23	38.76
5	4.64	0.2	168.78	136.9	23.11
6	4.64	0.5	66.85	316.33	21.15
7	6.81	0.2	363.92	45.908	16.71
8	6.81	0.5	144.91	104.13	15.09
9	10	0.5	313.37	44.01	13.79
10	14.7	0.5	678.08	22.522	15.27
11	14.7	2	166.58	59.67	9.94
12	21.5	0.5	1451.42	6.31	9.16
13	21.5	2	359.91	23.451	8.44
14	31.6	2	781.13	10.41	8.13
15	46.4	2	1687.79	7.658	12.93
16	46.4	5	668.52	19.44	13.00
17	68.1	2	3639.24	4.583	16.68
18	68.1	5	1449.1	5.883	8.53
19	100	5	3133.75	6.329	19.83
20	100	10	1555.09	8.819	13.71

Interpretación de SEVs

Para la interpretación de los SEVs se emplearon los datos de resistividad tomados en campo y el programa ipi2win versión 3.0.1. El programa ipi2win sirve para generar interpretaciones de SEVs en una dimensión, por medio del ajuste de una curva de resistividad. Las interpretaciones de los SEVs se efectuaron admitiendo un error hasta el 5%, lo que respalda la veracidad de los datos. No obstante, las interpretaciones pueden verse afectadas por errores subjetivos del interpretador.

Los valores de resistividad pueden variar por distintas razones, principalmente por las alteraciones que pueden presentar las rocas como saturación de agua dulce o salada, fracturamientos o simplemente que la roca no contenga agua. Por estas razones, la interpretación de los SEVs se basó en la geología de la zona ya que es la opción más fiable. Sin embargo, la geología en la zona se encuentra alterada ya que es un aluvial, el cual ha sufrido diversas variaciones litológicas que son efecto de los cambios en el cauce del río.

3.2.2 Mapa Hidrogeológico

En el análisis de la hidrogeología de la cuenca del río Valdivia, se emplearon los mapas hidrogeológicos tanto de Santa Elena como de Portoviejo, debido a que la cuenca se ubica dentro del área que ambos mapas comprenden. En los mapas se identifican los principales rasgos hidrogeológicos de la cuenca como: tipo de cuenca, los cuerpos de agua, las redes hídricas, los manantiales y las unidades hidrogeológicas que lo conforman.

3.3 Fase III: Modelo conceptual y metodología IAP

Esta fase se basó en la construcción del modelo conceptual inicial del acuífero y de la aplicación de la metodología investigación acción participativo de los datos recopilados en las fases I y II, rigiéndose en base a análisis técnicos y sociales. A continuación, se detallarán los procesos que se siguieron.

3.3.1 Modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero

El modelo conceptual es una representación gráfica de la naturaleza, que busca esquematizar las condiciones e interacciones reales, de los sistemas hidrogeológicos presentes en la cuenca. El modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero de la cuenca del río Valdivia, se construyó en base al análisis de la geología (cartografía e información de estudios previos), hidrogeología y geofísica (campañas de SEVs y niveles de pozos en campo). Estos parámetros fueron cruciales para comprender y representar, una simulación cercana a la realidad del estado actual en el que se encuentra tanto el río como el acuífero.

3.3.2 Metodología investigación-acción participativa

La metodología IAP, tiene como objetivo buscar soluciones racionales y convenientes a las problemáticas que se puedan presentar en una determinada comunidad u organización, con la finalidad de modificar esa realidad y confrontar los problemas a través de los recursos y la participación de la población que integra a la comunidad.

El tipo de metodología IAP que se empleó en las comunas que conforman a la JAAPR-Valdivia (Sinchal, Barcelona, Valdivia, San Pedro y Carrizal), se basó en la integración de metodologías propuestas por Herrera (2009), López & Chacón (1997) (Figura 3.9).



Figura 3. 9. Integración de metodología propuesta.

Elaborado por: (Herrera, 2015)

En la primera etapa se analizó la realidad social, enfocándose principalmente en identificar a primera instancia la problemática con sus componentes y la relevancia jerárquica de los mismos (Herrera, 2015). La segunda etapa se enfoca en diseñar y buscar estrategias y mecanismos que permitan generar soluciones, haciendo uso de la experiencia en el tema, y disponibilidades del entorno (Herrera, 2015).

En la tercera etapa se procede a la ejecución de lo planificado en la segunda etapa. Además, en esta etapa aparecen limitaciones, como lo es el presupuesto disponible para ejecutar lo planificado.

Finalmente, la cuarta etapa se resume en observar y reflexionar. Implica evaluar si lo que fue planificado y lo que se está realizando, va en concordancia con la realidad actual del problema y se acomoda bien al estudio realizado. Esta etapa toma forma propia, dependiendo de la identidad relacionada a lo social y del entorno económico social del lugar (Herrera, 2015).

3.4 Fase IV: Propuesta de modelo socio-hidrogeológico

El diseño y validación de la propuesta del modelo socio-hidrogeológico, se basó en la incorporación de aspectos técnicos y sociales, para comprender como interactúan los sistemas que intervienen en la cuenca. Por lo que, inicialmente se realizó el reconocimiento de 4 variables, las cuales son: el sistema hidrogeológico, sistema ecológico, sistema económico y el sistema social (Figura 3.10).

Las variables fueron previamente analizadas en las fases antes descritas, como es el caso del sistema hidrogeológico en donde intervino tanto el análisis de la cuenca hidrográfica como el modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero, para los demás sistemas se emplearon tanto el análisis de información como la metodología IAP.

Una vez identificados los sistemas se procedió a analizar como interactúan entre sí, con la finalidad de definir los déficits existentes y proponer mejoras para la gestión sostenible del agua con la ayuda de las personas que integran la comunidad de la JAAPR-Valdivia. En la etapa de validación se establecieron los requerimientos y las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento del modelo socio-hidrogeológico, dependiendo de las capacidades y demandas de la organización.

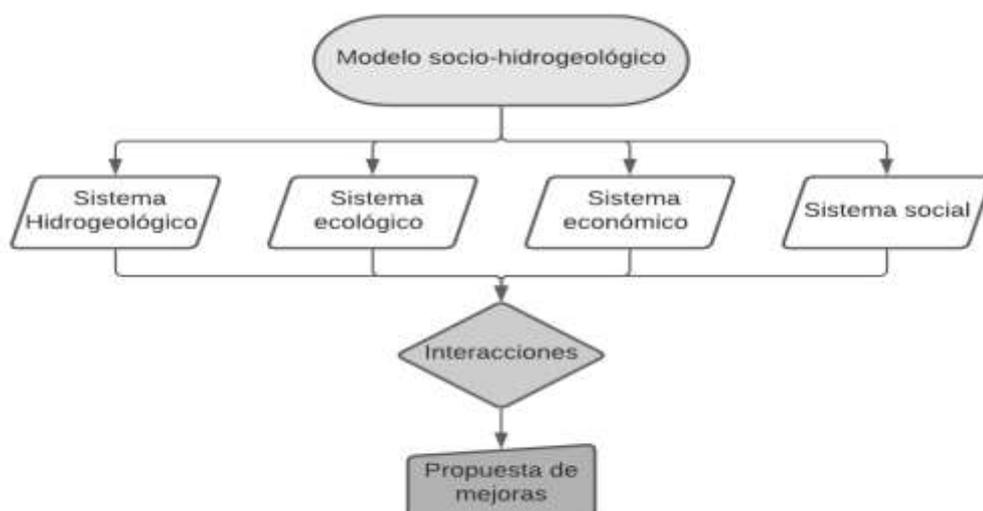


Figura 3. 10. Propuesta de modelo socio-hidrogeológico.

CAPÍTULO 4

4. Resultados y Análisis

4.1 Cuenca hidrográfica

4.1.1 Clasificación de la cuenca hidrográfica

En la Figura 4.1 se muestra el mapa de la cuenca hidrográfica del río Valdivia y su clasificación en cuenca: alta, media y baja. La cuenca alta abarca 72,90 kilómetros cuadrados, mientras que la cuenca media 57,46 kilómetros cuadrados y la cuenca baja tiene un área de aproximadamente 34.16 kilómetros cuadrados (Alianza Jatun Sacha, 2002). Además, cuenta con una población de 6552 habitantes que se asientan en la cuenca media y baja del río Valdivia.

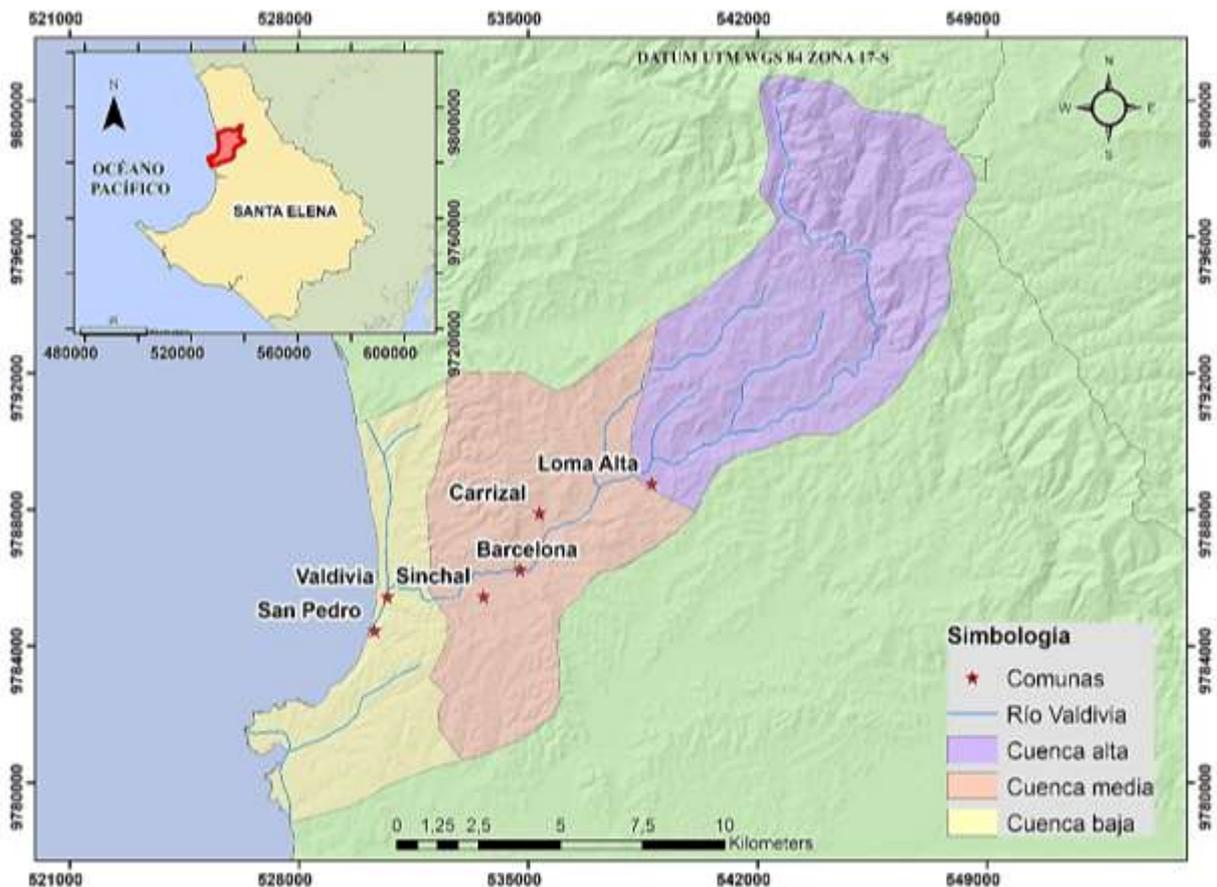


Figura 4. 1 Clasificación de la cuenca hidrográfica del río Valdivia.

Elaborado con datos del: (Alianza Jatun Sacha, 2002).

4.1.2 Precipitaciones

Los datos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de la estación meteorológica El Suspiro (ubicada dentro de la cuenca del río Valdivia), refleja el impacto que ha tenido el paso del fenómeno de La Niña en la zona. Las precipitaciones anuales han sufrido un descenso drástico. En el 2019 el valor anual de la precipitación fue de 212 mm., mientras que en el 2020 la precipitación anual fue de 38.70 mm. Estos déficits de precipitaciones se encuentran vinculados al paso del fenómeno de La Niña en las costas ecuatorianas, y ha tenido mayor repercusión en el año 2020, siendo los meses desde Junio a Diciembre los más críticos (Figura 4.2, Figura 4.3). En cuanto al año 2021, el fenómeno de La Niña tuvo mayor intensidad en la cuenca. Los meses de Enero y Febrero, presentaron precipitaciones muy bajas de 8.90 mm, mientras que el mes de Marzo se presentaron precipitaciones más altas de hasta 200 mm. Sin embargo, las precipitaciones volvieron a descender en el mes de Abril y Mayo (Figura 4.2). Los drásticos descensos en la intensidad de lluvias en la zona, ha provocado que la cuenca presente sequía extrema. Una clara evidencia del grado de afectación que ha tenido el fenómeno de La Niña (durante el 2019 y 2020) en la cuenca se refleja en el río Valdivia, que se ha secado completamente en la cuenca media y baja, dejando a las comunas que se acentúan en la zona sin los recursos hídricos suficientes para su desarrollo agrícola y uso doméstico (Apéndice C).

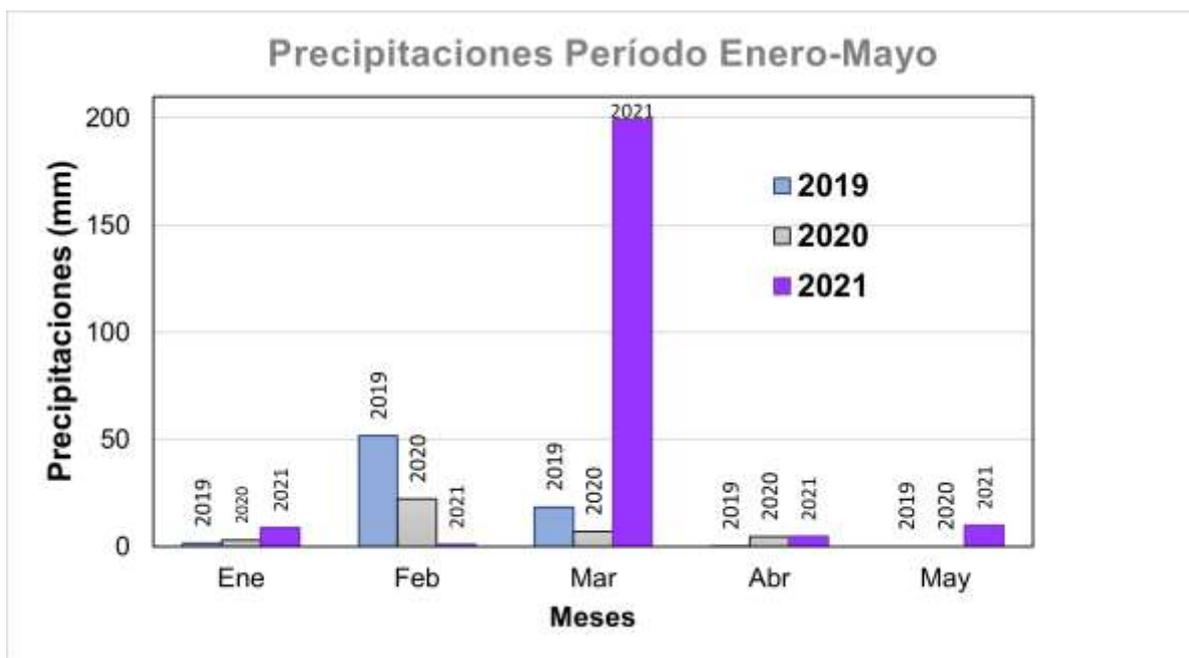


Figura 4. 2 Precipitaciones del período de Enero-Mayo de los años 2019, 2020 y 2021, de la cuenca del río Valdivia, tomados de la estación meteorológica El Suspiro (código: M0245).

Elaborado con datos del: (INAMHI, s. f.).



Figura 4. 3 Precipitaciones del período de Junio-Diciembre de los años 2019 y 2020, de la cuenca del río Valdivia, tomados de la estación meteorológica El Suspiro (código: M0245).

Elaborado con datos del: (INAMHI, s. f.).

4.2 Hidrogeología

4.2.1 Diagnóstico de parámetros físico-químicos

En el caso de los pozos de uso agrícola, el pozo 1 se encuentra sin agua, debido a que únicamente se recarga con el río y actualmente el río se encuentra seco, mientras que en los pozos 9 y 10, no se pudo tomar mediciones de estos parámetros, por falta de acceso al interior de los pozos. En el caso de los pozos pertenecientes a la JAAPR-Valdivia, se identificaron 3 pozos activos, mientras que los pozos restantes se encuentran inactivos por diversos factores como la falta de bomba (pozos 3 y 7), el robo de cableados (pozo 5), presencia de alta salinidades caso del pozo 4 y falta de agua como es el caso del pozo 8 (Tabla 4.1).

Tabla 4. 1 Registros de datos de los pozos ubicados dentro de la cuenca del río Valdivia.

Pozos	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Profundidad de pozo (m)	Nivel estático (m)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Resistividad (ohm.cm)	TDS (mg/L)	Salinidad (%)	Estado
1	534855	9786358	24	-	-	-	-	-	-	-	-	Inactivo
2	535107	9786355	23	13	9.9	7	1.034	27.7	967	1.034	0.5	Activo
3	535209	9786649	23	7.9	4	7	1.002	26.5	998	1.002	0.4	Contaminado
4	535101	9786740	29	15.43	13.05	7	1.194	26.4	837	1.195	0.5	Contaminado
5	534356	9785988	25	19.3	11,1	7	2.65	27.2	377	2.65	1.4	Activo
6	534244	9785957	29	19	11.5	7	3.14	27.6	318	3.15	1.6	Activo
7	533008	9786042	20	7.4	4.1	7	5.29	27	188.5	5.31	2.9	Activo
8	532824	9786069	20	4	3	7	3.83	26.1	260	3.84	2	Activo
9	532861	9786105	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Activo
10	532972	9786029	26	-	-	-	-	-	-	-	-	Activo
11	534234	9786399	17	6.7	555	7	1.841	26.8	543	1.844	0.9	Activo
12	538285	9789151	47	6.2	3.8	7	12.83	26.9	77.9	12.83	7.4	Activo
13	538274	9789157	46	4	3	7	11.46	31.2	87.2	11.46	6.6	Activo
14	538300	9789157	47	5.65	3.7	7	4.44	27.5	225	4.44	2.4	Activo
15	534956	9786407	26	-	-	7	1.108	30	903	1.109	0.5	Inactivo
16	535332	9786504	21	12	4.8	7.05	2.11	35.5	473	2.11	1.1	Activo
POZOS DE LA JAAPR-VALDIVIA												
1	536901	9788597	37	-	-	7	1671	28.7	599	1669	0.8	Activo
2	536691	9788187	32	-	-	7	1548	27.5	645	1552	0.7	Activo

Pozos	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Profundidad de pozo (m)	Nivel estático (m)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Resistividad (ohm.cm)	TDS (mg/L)	Salinidad (%)	Estado
4	534379	9785960	20	-	-	-	-	-	-	-	-	Inactivo
5	534363	9785950	20	18	-	-	-	-	-	-	-	Inactivo
6	534368	9785960	17	18	-	7	1839	29.3	543	1840	0.9	Activo
7	536939	9788565	37	13	3	7	1223	27.7	817	1224	0.6	Inactivo
8	536668	9787984	31	17	-	-	-	-	-	-	-	Inactivo

Evaluación preliminar de la calidad de agua extraída

Se evaluó de forma preliminar la calidad del agua extraída de los pozos, por medio de la recopilación de los datos de parámetros físico-químicos (Tabla 4.1) y posterior comparación con los niveles óptimos para el consumo de agua establecidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud) y por la TULSMA (Texto Unificado de legislación Secundaria de Medio Ambiente) Libro VI Anexo 1 (Tabla 4.2). Al contrarrestar los datos obtenidos en campo con los niveles preestablecidos por la OMS, se obtuvo un pH neutro en la mayoría de los pozos.

Sin embargo, en el caso de los pozos de uso agrícola, solo los pozos 2 y 11, no se encuentran en condiciones óptimas para su uso debido a que mantienen niveles altos de salinidad. No se puede considerar a los pozos 3 y 4, como óptimos a pesar de que mantengan niveles bajos de salinidad, ya que estos presentan contaminación con larvas. Los pozos restantes presentan altos porcentajes de salinidad por lo que, esa agua es considerada salobre y no es recomendable su uso. Por otro lado, en el caso de los pozos de la JAAPR-Valdivia, todos poseen valores de salinidad superiores 0.5, su agua es considerada como salobre, por lo que no es recomendable su utilización para el consumo humano.

Tabla 4. 2 Parámetros referenciales para evaluar la calidad del agua.

Elaborado con datos del: (OMS, 2013) y (TULSMA, 2017)

Parámetros	Valores de referencia
pH	6.5-9.5
Temperatura (°C)	27-28
TDS (g/L)	<1.2
Salinidad (%)	<=0.5

4.2.2 Resultados de SEVs

Se interpretaron 17 sondeos eléctricos verticales (Apéndice B) realizados en la cuenca media del río Valdivia (Figura 4.4). Los SEVs 2, 4, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 16 y 17b poseen una mayor posibilidad para localizar aguas subterráneas, debido a sus altos valores de resistividad y al espesor de su capa de gravas y arenas que es superior a 8 metros, garantizando la existencia de mayor acumulación de agua en ese sector. Por otro lado, se obtienen 3 perfiles: Perfil A-A' (Sev-03 y Sev-04), Perfil B-B' (Sev-02 y Sev-08) y Perfil C-C' (Sev-05 y Sev-07), estos perfiles se localizan a lo largo del cauce del río Valdivia y se caracterizan por contener estratos de gravas y arenas (estos materiales actúan como capas acuíferas debido a su alta permeabilidad).

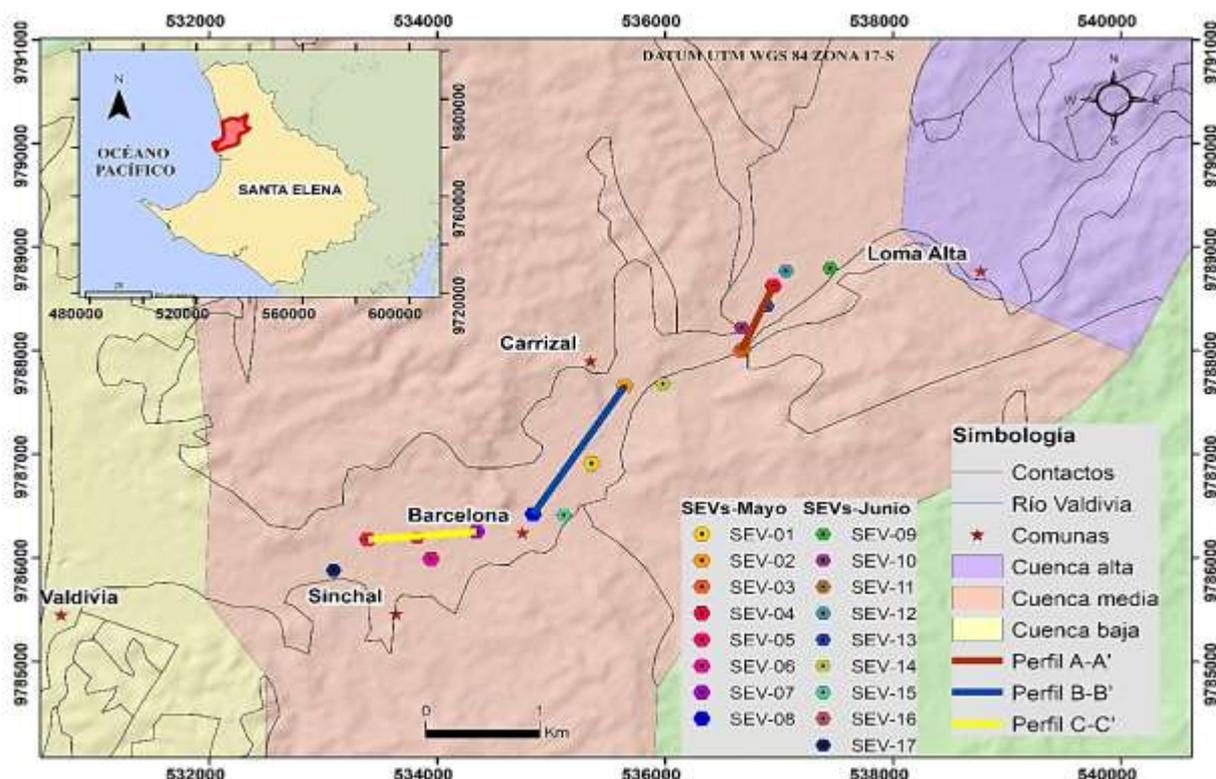


Figura 4. 4 Ubicación de perfiles de SEVs en la cuenca del río Valdivia.

La Tabla 4.3 muestra los valores obtenidos del procesamiento de las curvas de resistividad de los sondeos Sev-03 y Sev-04 (Perfil A-A', Figura 4.5), el primer sondeo mide una capa de arena con grava hasta 1.32 m de profundidad (desde la superficie), precedida de una capa de arcillas con posible material calcáreo con una profundidad de 33.3 m el máximo alcance de un sondeo. Mientras que el sondeo 4, contiene una capa de arenas con una profundidad de 2.42 m, seguida de una capa de arenas con arcillas de 3.78 m de profundidad, precedida de una capa de arenas con gravas probablemente saturadas con agua de 48.9 m de profundidad, finalmente se tiene una capa de 49 m de profundidad con presencia de gravas (saturadas con agua) con una alta resistividad.

En la Tabla 4.4 se detallan las resistividades obtenidas de los sondeos Sev-08 y Sev-02 (Perfil B-B', Figura 4.6), en el caso del sondeo 8 se tiene una capa de arenas con gravas a 2.08 m de profundidad, precedida de un estrato de arcillas con posible material calcáreo de 32.4 m de profundidad, finalmente se tiene una capa de arenas con arcillas con una profundidad de 33.3 m aproximadamente. Por otro lado, el sondeo 2 contiene una capa de arenas a 2.06 m de profundidad, seguida de una capa de arenas con posible material calcáreo a 24.6 m de profundidad, luego se tiene una capa de arenas con gravas posiblemente saturadas de agua con profundidad de 33.1 m, por último, se tiene una capa de gravas saturadas con agua a 33.3 m de profundidad.

La Tabla 4.5 muestra la correlación de los datos de resistividad, profundidad y litología de los sondeos Sev-05 y Sev-07 (Perfil C-C', Figura 4.7), donde el primer sondeo tiene una capa de arenas a una profundidad de 0.59 m, precedida de una capa de arenas con arcillas con 3.52 m de profundidad, seguida de una capa de arcillas con material calcáreo a una profundidad de 33.3 m. El sondeo 7, al igual que el sondeo 5, contiene inicialmente una capa de arenas con una profundidad de 2.5 m, luego tiene una capa de arcillas con posible material calcáreo a 7.46 m de profundidad, precedida de una capa de arenas con gravas a una profundidad de 32.4 m, por último, se tiene una capa de arcillas con posible material calcáreo a una profundidad de 33.3 m.

Al correlacionar los sondeos del Perfil A-A', las columnas estratigráficas mostraron que las capas con mayor permeabilidad son las arenas con gravas y las gravas presentes a 33 m para el Sev-03 y a 48.9 m para el Sev-04 (Figura 4.5). En el caso de los sondeos del Perfil B-B', las columnas estratigráficas mostraron estratos de arenas con gravas de alta permeabilidad a 33.3 m para el Sev-08 y a 33.1 m para el Sev-02 (Figura 4.6).

Finalmente, la correlación de los sondeos del Perfil C-C' mantiene una similitud con los perfiles anteriores, obteniendo las capas de arenas con gravas a 33.3 m para el Sev-05 y a 32.4 m para el Sev-07 (Figura 4.7). Los sondeos que presentan un mayor espesor de capa de arenas y gravas son definidos como lugares óptimos para la obtención de agua subterránea de buena calidad. Sin embargo, al encontrarse rodeados de estratos de arcillas con salinidad alta, existe la posibilidad de que el agua presente sales disueltas y se vuelva salobre, este efecto decrecería por la recarga del acuífero causando que el agua siga considerándose apta para el consumo. Una vez procesados e interpretados los sondeos se obtiene una tabla generalizada con los posibles rangos de valores de resistividad según su litología para la cuenca del río Valdivia (Tabla 4.6).

Tabla 4. 3 Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-03 y SEV-04.

Perfil A-A'		SEV-03			SEV-04		
Estratos	N°	Prof. d(m)	Resist. $\rho(\Omega.m)$	Litología	Prof. d(m)	Resist. $\rho(\Omega.m)$	Litología
	1	1.32	44.3	Material muy permeable (Arenas con gravas)	2.42	37.2	Material permeable (arenas)
	2	7.1	8.57	Material muy poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)	3.78	0.399	Material muy poco permeable (arenas con arcillas)
	3	33.3	5.86	Material muy poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)	48.9	129	Material muy permeable (arenas con gravas posiblemente saturadas con agua)
	4	-	51.3	Posible continuidad de material muy permeable (posiblemente arenas con gravas)	-	8325	Posible continuidad de material muy permeable (gravas saturadas con agua)

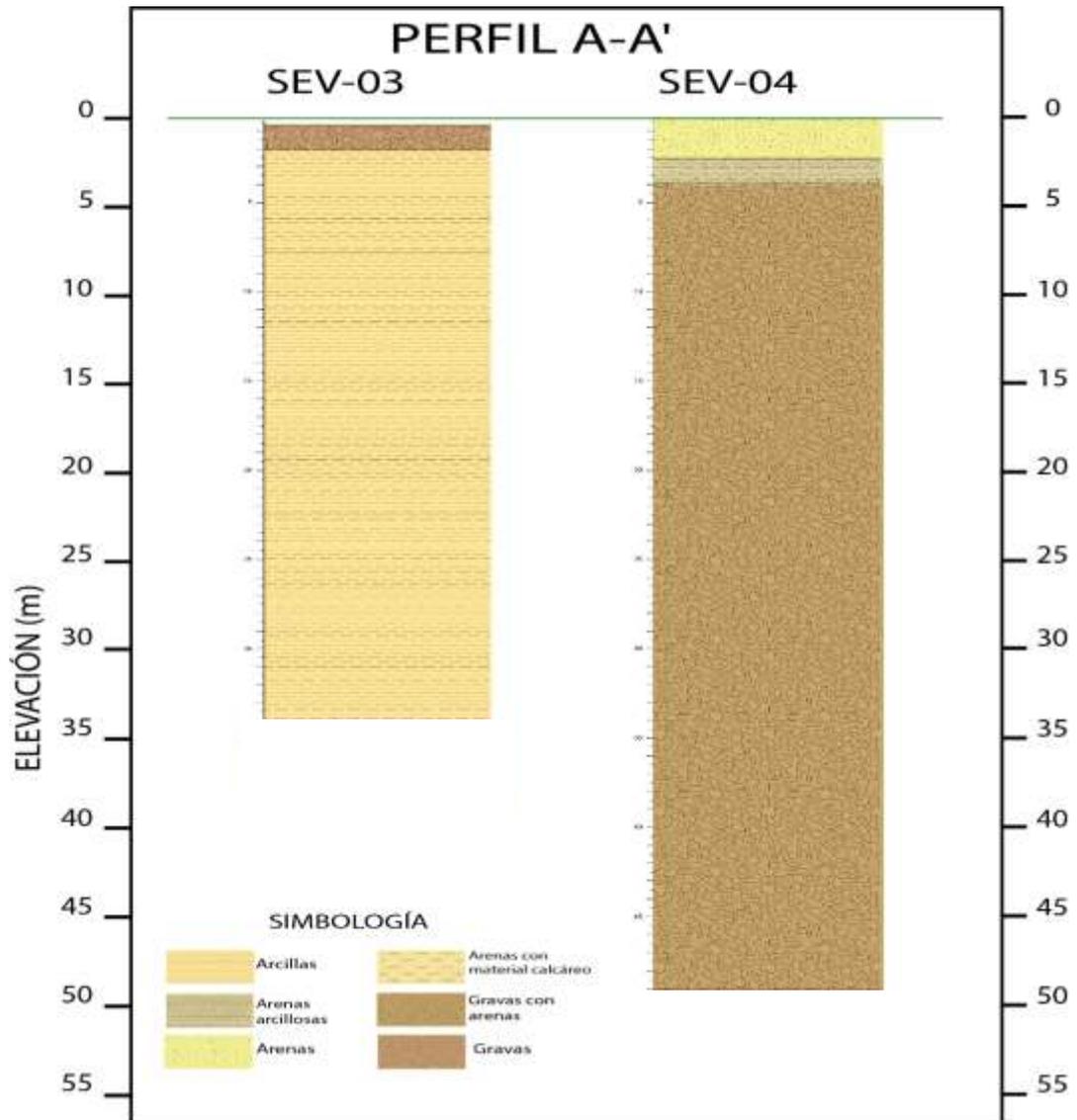


Figura 4. 5 Correlación de columnas litológicas de los SEV-03 y SEV-04.

Tabla 4. 4 Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-08 y SEV-02.

Perfil B-B'		SEV-08			SEV-02		
Estratos	N°	Prof. d(m)	Resist. $\rho(\Omega.m)$	Litología	Prof. d(m)	Resist. $\rho(\Omega.m)$	Litología
	1	2.08	84.5	Material muy permeable (arenas con gravas)	2.06	39	Material permeable (Arenas)
	2	32.4	4.2	Material muy poco permeable (arcillas con material calcáreo)	24.6	10.9	Material poco permeable (arenas con posible material calcáreo)
	3	-	90.4	Posible continuidad de material muy permeable (arenas con gravas)	33.1	86.3	Material muy permeable (arenas con gravas posiblemente saturadas de agua)
					-	8325	Posible continuidad de material muy permeable (gravas saturadas con agua)

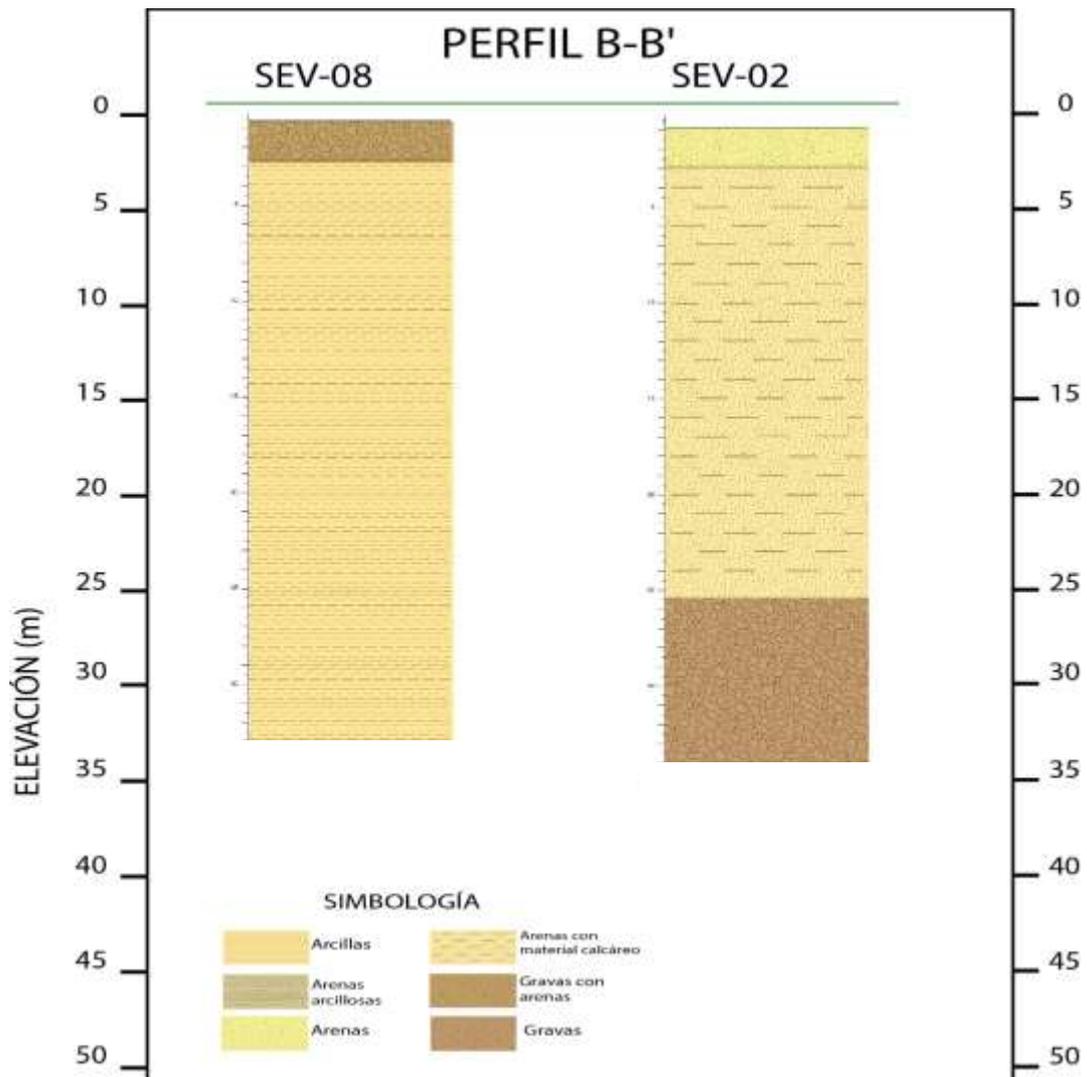


Figura 4. 6 Correlación de columnas litológicas de los SEV-08 y SEV-02.

Tabla 4. 5 Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-05 y SEV-07.

Perfil C-C'	SEV-05				SEV-07		
	N°	Prof. d(m)	Resist. $\rho(\Omega.m)$	Litología	Prof. d(m)	Resist. $\rho(\Omega.m)$	Litología
Estratos	1	0.595	33.4	Material permeable (Arenas)	2.5	23	Material permeable (Arenas)
	2	3.52	27.4	Material poco permeable (arenas con arcillas)	7.46	1.86	Material muy poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)
	3	33	3.9	Material muy poco permeable (posiblemente arcillas con material calcáreo)	32.4	66.4	Material muy permeable (posiblemente arenas con gravas)
	4	-	1021	Posible material muy permeable (arenas con gravas saturadas con agua)	-	0.342	Posible continuidad de material poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)

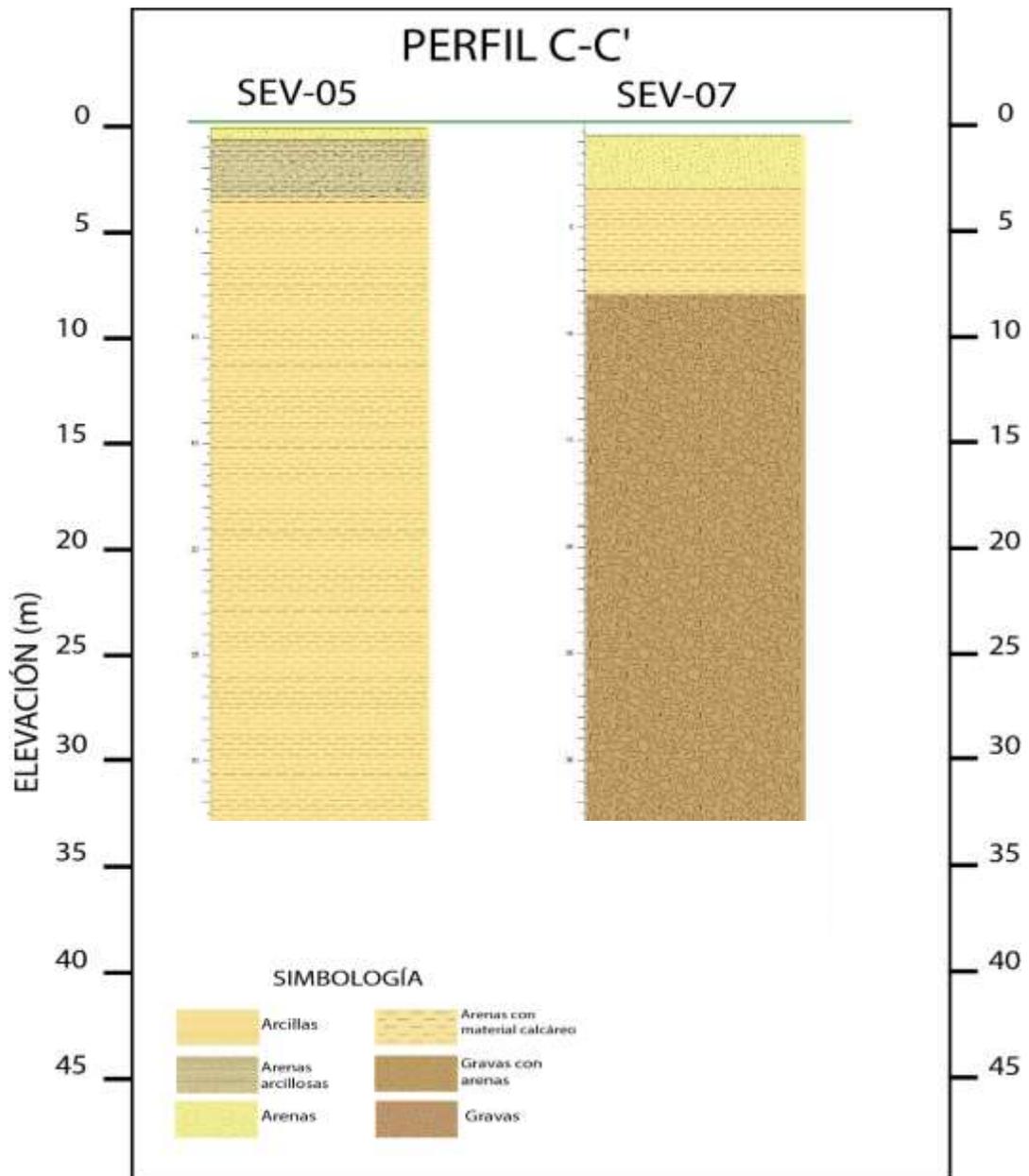


Figura 4. 7 Correlación de columnas litológicas de los SEV-05 y SEV-07.

Tabla 4. 6 Rango de valores de resistividad según su litología.

Resistividad	Litología
0-15	Arcillas con material calcáreo
15-25	Arenas
25-40	Arenas con arcillas
40-95	Arenas con gravas
95-8000	Basamento

4.2.3 Mapa Hidrogeológico

La hidrogeología de la zona de estudio se caracteriza por estar compuesta de unidades geológicas de edad del Mesozoico y Cuaternario. El 12% de la cuenca se encuentra conformado por los depósitos aluviales, que se caracterizan por estar compuestos principalmente de sedimentos fluviodeltríticos, gravas y cantos rodados en una matriz arenosa, con una permeabilidad muy alta por porosidad, que favorece a la acumulación de agua subterránea y posterior formación de acuíferos potenciales como lo es el acuífero del río Valdivia. Subyacente a esta unidad geológica, se tiene a la formación Tablazo, contiene areniscas, conglomerados y bancos calcáreos con permeabilidad alta a media.

Por consiguiente, se encuentra al miembro Dos Bocas, contiene lutitas que actúan como una capa impermeable formando un Acuicludo (unidad geológica que almacena agua, pero no permite su libre circulación), y beneficia al almacenamiento de agua (Valencia, 2017). Aproximadamente el 46% del territorio de la cuenca se encuentra conformado por la formación Tosagua, específicamente hablando del miembro Zapotal, que se caracteriza por poseer areniscas, lutitas y conglomerados, con una permeabilidad alta a media y buena porosidad.

Subyacente a la formación Tosagua, se tiene las formaciones Seca y al Grupo Ancón, se caracterizan por poseer areniscas, lutitas y conglomerados, con permeabilidades altas a media por porosidad. La formación Cayo ocupa el 23% del territorio de la cuenca y serviría como el basamento, está conformada por areniscas, grauvacas volcánicas con matriz arcillosa, con una permeabilidad muy baja. Para mayor comprensión observar la (Apéndice E) y Tabla 4.7.

Tabla 4. 7 Características hidrogeológicas

Elaborado por: (CIPAT-ESPOL & SENAGUA, 2014)

	Formación	Características hidrogeológicas
1	Depósito aluvial.- Sedimentos fluviodeltríticos arrastrados por ríos que bajan de la Cordillera Real. Gravas y cantos rodados en matriz arenosa.	Acuíferos potenciales: Olón, Manantial de Guangala, Montecristi, Olmedo. Permeabilidad muy alta por porosidad. Extensiones locales y discontinuas. Acuíferos Manglaralto, Valdivia, Río Seco - Monteverde, Daule.
2	Depósito coluvial.- Gravas angulosas a subangulosas pobremente consolidadas en matriz limo - arcillosas y areno - arcillosas.	Acuíferos potenciales: Montecristi. Permeabilidad muy alta, por porosidad. Extensión local y discontinua.
3	Terrazas aluviales e indiferenciadas.- Conglomerados, conformados por cantos rodados en matriz limo arenosa y arcilla limosa.	Acuífero Charapotó - Portoviejo - Río Chico. Permeabilidad muy alta por porosidad. Baja profundidad del nivel de agua, entre 1 y 17 m . Pozos someros, con profundidades entre 13 y 20 m. No se registran datos de caudales ni calidad química. pH entre 6 y 7; Acuífero Puerto Cayo - Cantagallo, profundidad de nivel de agua entre 9 y 19m. Sin datos de profundidad, caudal y variables químicas.
4	Fm. Tablazo.- Areniscas, conglomerados y bancos calcáreos.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media, por porosidad. Discontinuo. No hay suficientes datos de pozos.
5	Fm. Balzar.- Toba, arcilla laminada, areniscas, arenisca con niveles calcáreos, conglomerados.	Permeabilidad media a baja por porosidad. Sin pozos confirmados.
6	Fm. Canoa.- Limo y arcillas arenosas, areniscas, calizas, conglomerados.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad media a baja, por porosidad. Extenso. No hay suficientes datos de pozos.
7	Fm. Borbón.- Areniscas de color gris azulado de grano medio a grueso en bancos compactos con abundantes megafósiles en bolsones irregulares; intercalaciones de lava endurecida y toba volcánica gris; lentes de conglomerado y conglomerado basal.	Acuífero potencial: Pueblo Nuevo. Permeabilidad media a baja por porosidad. Baja profundidad del nivel de agua, entre 2 y 6,6 m. No se registran datos de profundidades ni de caudal. pH entre 5,8 y 6,8.
8	Fm. Onzole.- Arcilla arenosa, lutita.	Acuícludo.
9	Fm. Angostura.- Areniscas, basal, lutitas verdes, conglomerados, bancos calcáreos.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad media a baja, por porosidad. Extenso. Se requiere estudios a detalle que confirme la presencia de agua subterránea.
10	Fm. Tosagua(M. Villingota).- Lutitas diatomáceas, arcillas blancas.	Acuícludo.
11	Fm. Tosagua (M. Dos Bocas).- Arcillas chocolate, areniscas, intercalaciones de vetillas de yeso.	Acuícludo.
12	Fm. Tosagua (M. Zapotal).- Areniscas, lutitas, conglomerados.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media, por porosidad. Extenso. Sin pozos confirmados.
13	G. Ancón.- Areniscas, limolitas, lutitas, conglomerados, calizas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media. Discontinuo. Sin pozos confirmados

	Formación	Características hidrogeológicas
15	Fm. Seca (G. Ancón).- Areniscas, limolitas, lutitas, conglomerados, calizas.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media, por porosidad. Extensión local. Sin pozos confirmados.
16	Fm. San Mateo.- Areniscas finas a medias, depositadas en aguas poco profundas con sedimentación irregular, entrecruzada y presencia de vetas de lignito.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media. Extensión local y discontinua. Sin pozos confirmados.
17	Fm. Cerro.- Margas tobáceas, lutitas, cherts, areniscas.	Permeabilidad media por fisuración. Extensión local. Sin pozos confirmados.
18	Fm. San Eduardo.- Calizas arrecifales.	Permeabilidad media por karstificación. Extensión local. Sin pozos confirmados.
19	Calizas Javita.- Calizas arrecifales, areniscas carbonatadas.	Permeabilidad media por karstificación. Extensión local. Sin pozos confirmados.
20	Fm. Cayo.- Areniscas, grauvacas volcánicas con matriz arcillosa, argilitas silicificadas.	Permeabilidad baja. Sin pozos confirmados.
21	Fm. Piñón.- Basalto andesita, dolerita. Toba, brecha.	Acuífugo.
22	Complejo ígneo.- Basalto, dolerita.	Acuífugo.

4.3 Modelo conceptual y proceso IAP

4.3.1 Modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero

Al correlacionar las columnas obtenidas de la interpretación de los SEVs (Figura 4.9), se determinó que el agua del acuífero fluye por medio de depósitos aluviales del Cuaternario, con una capacidad litológica que varía entre 2 a 45 metros en gran parte de la cuenca media. Su litología está compuesta principalmente por estratos de arenas, arcillas y gravas, con potencias que varían de unos pocos metros hasta aproximadamente 30 metros. Además, presenta estratos con alto contenido de material calcáreo, e indica que las formaciones geológicas mantuvieron una exposición ante un medio marino.

La recarga tanto del acuífero como del río, dependen de las precipitaciones que se produzcan en la zona. En el caso del acuífero, la recarga se efectúa a través de la infiltración de precipitaciones en los estratos que conforman a las terrazas aluviales presentes en la cuenca y otra forma de recarga del acuífero se da por medio de la infiltración de agua en el lecho del río, lo cual es efecto de la escorrentía que se origina en épocas de precipitaciones intensas y por las precipitaciones más leves y finas, también conocidas como “garúas”.

La descarga o salida de agua, del río y del acuífero se da principalmente por las extracciones que efectúan las juntas administradoras de agua potable (JAAPR-Valdivia, JAAP-“Loma Alta”, JAAP-“La Unión”, JAAP-“El Suspiro”), con la finalidad de abastecer a sus pobladores. Existen otros factores que también influyen a la descarga del río y acuífero, como es el ETP (potencial de evapotranspiración), básicamente es el agua que se evapora debido a factores climáticos, elevando el déficit hídrico. Finalmente, se tiene la descarga natural del río Valdivia hacia el mar.

Actualmente, la cuenca se encuentra afectada por el fenómeno de La niña que ha dejado como resultado que el cauce del río descienda hasta estar totalmente seco, por lo que las poblaciones se abastecen únicamente del acuífero. Al analizar los datos de parámetros físico-químicos del agua de los pozos cercanos al mar, se obtuvo que en su mayoría presentan un alto contenido salino, por lo que se evidencia que el acuífero se encuentra afectado por la intrusión salina, perjudicando la calidad del agua extraída (Figura 4.8).

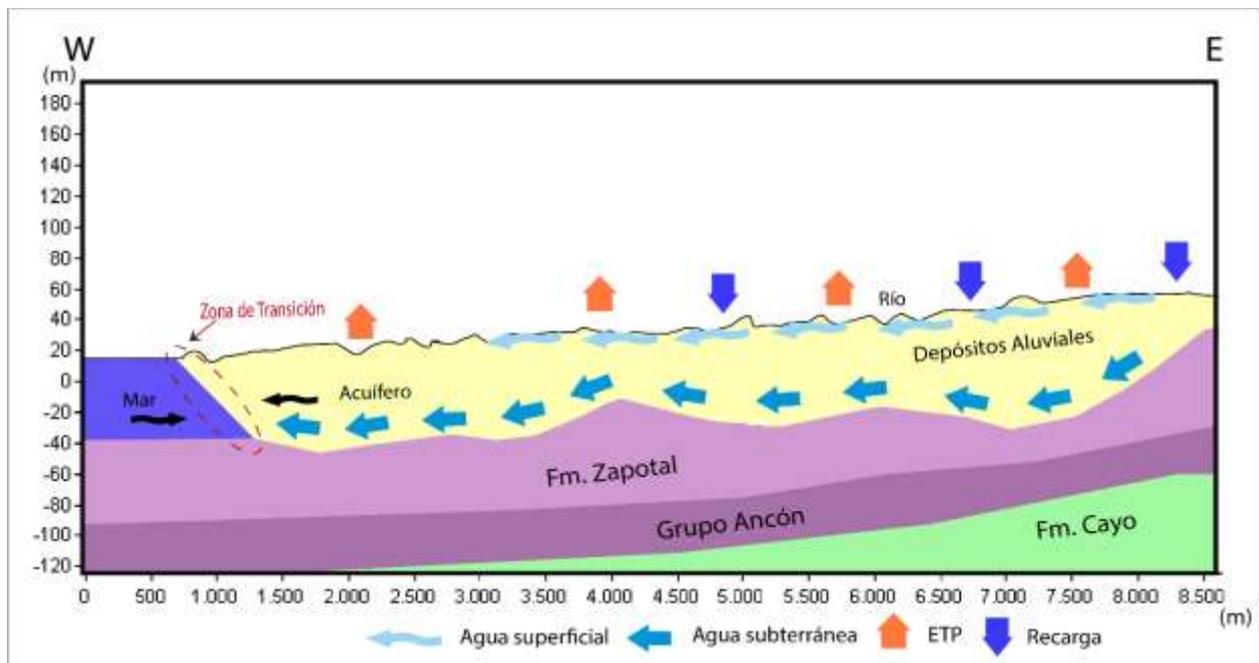


Figura 4. 8 Modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero de la cuenca del río Valdivia

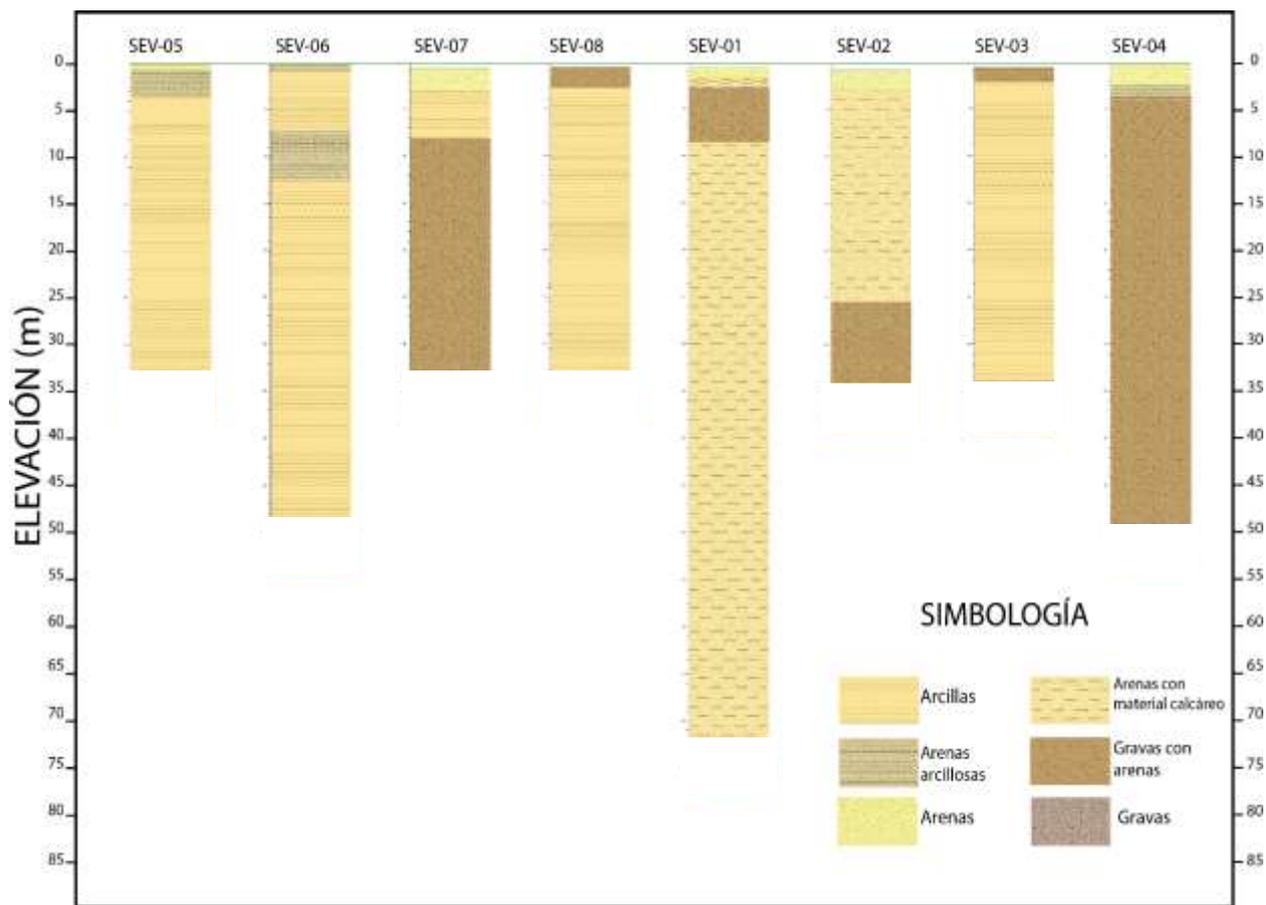


Figura 4. 9 Correlación de los sondeos verticales tomados en campo.

4.3.2 Metodología investigación-acción participativa

La metodología IAP (Apéndice D), generó resultados a partir de entrevistas, reuniones y actividades FODA (Figura 4.10), para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos se clasificaron de la siguiente manera:

Indicadores ecológicos

Los indicadores ecológicos o ambientales comprenden varios aspectos como la cantidad, calidad y el manejo final que se le dan a los recursos hídricos en la zona. Al interactuar con los habitantes de las comunas, se logró notar un alto grado de preocupación por la sequía que actualmente está afectando a la cuenca (consecuencia del fenómeno de La Niña). En los recorridos que se elaboraron a lo largo de la cuenca se logró identificar que el río se encontraba totalmente seco hasta el sector comuna Loma Alta, dejando sin agua al resto de comunas que conforman a la JAAPR-Valdivia. Sin embargo, la sequía no solo ha afectado al río sino también al

acuífero que se ubica debajo de él, ya que al no recargarse ha bajado su nivel dificultando la extracción de agua de los pozos por parte de la JAAPR-Valdivia. Por otro lado, los habitantes también se preocupan durante la época invernal, ya que la presencia de altas precipitaciones provoca que el nivel del río suba excesivamente llegando a afectar a las bombas que hay en los pozos ubicados en el río. Otro aspecto que la comunidad considera que es muy importante, es el desconocimiento del volumen de agua explotado por parte de las industrias que se dedican a la venta de agua (tanqueros) en el sector, ya que es un riesgo potencial de desperdicio. La comuna Loma Alta sigue explotando tanto al río como al acuífero con la misma intensidad, ignorando la sequía que actualmente está afectando a la cuenca, esta es una de las razones por la que el río no alcanza a llegar hacia las demás comunas.

Indicadores económicos

Los indicadores económicos se centran en las principales fuentes de ingresos que tienen los pobladores de las comunas que integran a la JAAPR-Valdivia. Vale mencionar que su fuente más importante de ingreso dependía del turismo, sin embargo, debido al brote de COVID-19 este tipo de ingreso se vio fuertemente decaído, por lo que los habitantes tomaron la decisión de cambiar sus actividades económicas por agricultura. Ahora se dedican a cultivar: limón, maíz, pimiento, cebolla, yuca, zapallo, sandía, melón, y parto para la ganadería. Por obvias razones, la sequía del lugar representa un importante problema para los pobladores de la zona que buscan mejorar su estado económico con actividades agropecuarias. Inclusive la JAARP-Valdivia se vio obligada a disminuir la frecuencia con la que distribuyen agua; pasando de distribuir cada 12 horas, a distribuir cada 29 horas. Esto también repercute negativamente en los ingresos de la JAAPR, menos frecuencia de venta de agua, equivalen a menor compra de esta.

Indicadores sociales

La población beneficiada por JAAPR-Valdivia está al tanto del deficiente manejo del agua y el estado del sobreexplotado acuífero. Sin embargo, desconocen de las implicaciones que todo esto conlleva. Como si esto

fuera poco, existe un porcentaje de al menos 2% equivalente a la cantidad de pobladores que incumplen con el pago de los haberes para la junta. La comunidad siente que necesitan que los organismos gubernamentales tomen acciones o trabajen en conjunto con ellos para la conservación de sus recursos hídricos, como es el caso de la sectorización del sistema de tuberías para poder controlar posibles fugas en la distribución de agua. La JAAPR reconoce que necesitan llevar un registro histórico de la distribución de agua por comuna para controlar los consumos excesivos de agua.

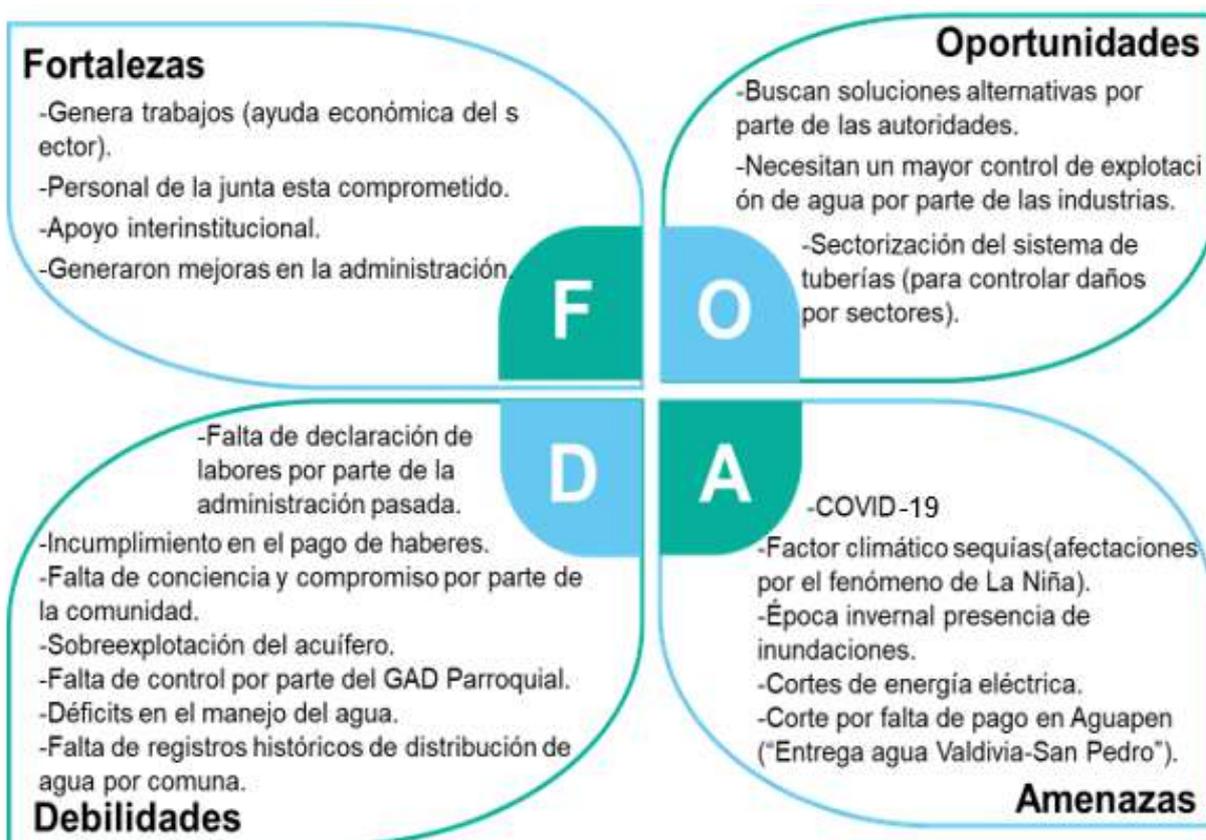


Figura 4. 10 Resultado de la actividad de FODA elaborado en conjunto con representantes de las comunas que integran a la JAAPR-Valdivia.

4.4 Propuesta de modelo socio-hidrogeológico

Una vez identificados los indicadores o variables que integran al modelo socio-hidrogeológico, se puede establecer el modelo incorporando aspectos técnicos y sociales, con la finalidad de poder establecer mejoras en la gestión sostenible del agua de la JAAPR-Valdivia (Figura 4.11).

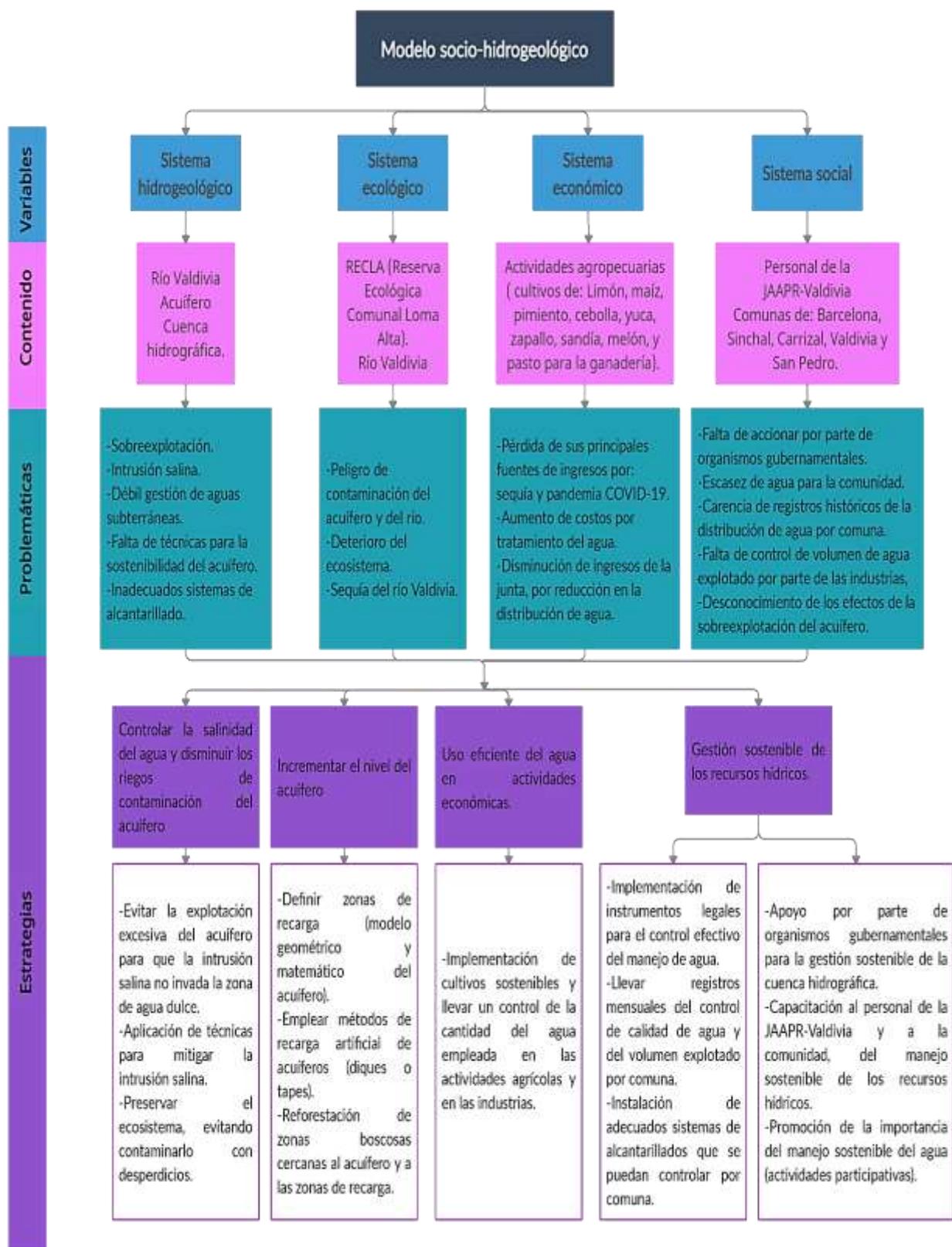


Figura 4. 11 Propuesta de modelo socio-hidrogeológico aplicado a la gestión sostenible del agua en la cuenca hidrográfica del río Valdivia (Santa Elena-Ecuador).

4.5 Análisis de resultados

El modelo socio-hidrogeológico de la cuenca hidrográfica del río Valdivia, se construyó en base a 4 sistemas: hidrogeológico, ecológico, económico y social (Figura 4.12). Dichos sistemas integran a la cuenca hidrográfica, y se encuentran vinculados unos con otros, lo que implica que, si uno de estos sistemas falla, tendría repercusión en los demás. Los sistemas se identificaron y examinaron en base a criterios técnicos y aportaciones sociales. El enfoque del presente proyecto se centra en ayudar a la JAAPR-Valdivia a gestionar sosteniblemente el uso y la administración del agua, por ello los estudios y los análisis realizados se orientan en la cuenca media de la zona.

El sistema hidrogeológico es el centro de los demás sistemas y está integrado principalmente por la cuenca hidrográfica que envuelve al río Valdivia y el acuífero que se ubica debajo del mismo. La evaluación de la cuenca hidrográfica, los principales resultados obtenidos de la medición de parámetros físico-químicos, los SEVs y los recorridos preliminares, revelan que actualmente la cuenca se encuentra enfrentando una sequía extrema debido al fenómeno de La Niña, la falta de precipitaciones en la zona ha venido aumentando desde el año 2019, teniendo mayor afectación a finales del 2020 e inicios del 2021.

Uno de los efectos más graves que ha dejado la sequía es la escasez de agua de gran parte del río Valdivia. La falta de precipitaciones también afecta al acuífero, ya que no tiene fuentes de recarga. El déficit hídrico del sistema hidrogeológico repercute en el entorno ambiental de la cuenca, afectando a la vegetación y a las especies que habitan en el sector; recalcando que muy cercana a la zona se ubica la reserva ecológica comunal de Loma Alta (RECLA). Además, afecta a las actividades agropecuarias de la población, hoy en día su principal fuente económica, debido a que en la pandemia de COVID-19, los ingresos del turismo escasearon.

El sector agrícola necesita agua para regar sus cultivos y alimentar ganado. Actualmente la cuenca media cuenta con 16 pozos del sector agrícola, sin embargo se desconoce el volumen explotado y la calidad del agua, sumado a que existen industrias que extraen el agua de la cuenca sin reportar el volumen extraído; estas falencias representan un gran problema para la cuenca

hidrográfica debido a que se necesita llevar un control exacto del agua explotada del acuífero para poder realizar el balance hídrico y controlar que el volumen explotado no supere a la capacidad de recarga del acuífero. De lo contrario, el acuífero sufriría un daño irreversible. La junta necesita proporcionar agua a las comunidades que se acentúan en la cuenca hidrográfica, es importante que la población participe en las actividades de preservación y cuidado de sus recursos hídricos, con la finalidad que trabajen en conjunto con la JAAPR-Valdivia, para poder sobrellevar las diversas problemáticas que se puedan presentar en la cuenca hidrográfica.

Además, es evidente la falta de apoyo por parte de organismos gubernamentales que colaboren con la junta para mejorar su sistema de alcantarillado, sectorizándolo por comuna para que puedan tener un control más exacto del consumo de agua y de daños de tubería. La propuesta del modelo socio-hidrogeológico busca soluciones adecuadas para las diversas problemáticas presentes en la administración y manejo del agua por parte JAAPR-Valdivia, con un enfoque de sostenibilidad y aplicando los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

CAPÍTULO 5

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

El modelo socio-hidrogeológico en la cuenca hidrográfica media-baja del río Valdivia, que administra la JAAPR-Valdivia permite la identificación del contexto general de una cuenca hidrográfica 91.62 kilómetros cuadrados, que es el factor primordial para una población de 6552 habitantes. Con necesidades claves en el sector de la cuenca, respecto a sus actividades relacionadas con la población y su productividad. Es importante implementar estrategias que faciliten el desarrollo sostenible del área gestionada por la JAAPR-Valdivia.

Entre las condiciones naturales se encuentran la cuenca hidrográfica, acuífero y el río Valdivia; las antrópicas conforman principalmente la agricultura, ganadería y turismo. Dichas condiciones naturales presentan sequía y sobreexplotación generando impedimento para abastecer de agua a las comunas. Esto último impacta en las condiciones antrópicas que dependen del agua como principal recurso para sus actividades. Todo esto se analizó mediante el modelo socio-hidrogeológico para el desarrollo de actividades productivas en un ámbito de sostenibilidad.

Las comunidades que integran a la JAAPR-Valdivia interactúan con su territorio y con la cuenca hidrográfica, para buscar formas de producción y donde la sociedad alcance el máximo provecho de su entorno, por ello utilizan al río como su fuente principal para satisfacer sus necesidades hídricas y emplean el conocimiento ancestral por medio de la implementación de diques o tapes para obtener agua en la época de estiaje. En un enfoque ecológico, las comunidades trabajan en preservar la cabecera de cuenca que ha sido nombrada zona de protección, ya que es la captadora del agua y de la vida del sistema ecológico que se reparte en todo el territorio. Adicionalmente en la parte económica trabajan en la producción de limón siendo denominada la capital del limón de la provincia de Santa Elena, ya que produce 56 920 sacos de limones anuales. El sector también produce: maíz, pimiento, cebolla, yuca, zapallo, sandía, melón,

y pasto para la ganadería. Finalmente la parte social, se encuentra conformada por las comunas de Barcelona, Sinchal, Carrizal, Valdivia y San Pedro.

El modelo conceptual inicial del acuífero esquematizó las condiciones más cercanas a la realidad del sistema río-acuífero facilitando la comprensión de la geología de la cuenca hidrográfica y sirviendo como guía para estudios posteriores. El modelo permitió entender que la cuenca tiene la fluencia de vertientes donde la terraza aluvial de 12 m de ancho y 56,18 km de largo acumula materiales de arenas, arcillas y gravas con mayor volumen y espesor guardando las características de un acuífero costero libre y detrítico.

La gestión sostenible de los recursos hídricos, en la cuenca del río Valdivia se enfoca en trabajar en 3 sectores, los cuales son: la cabecera de la cuenca que es donde se encuentra la RECLA(Reserva Ecológica Comunal Loma Alta), la cuenca media-baja donde es la zona de producción agrícola y finalmente la zona costera que se enfoca en el turismo, estos tres sectores son dependientes del agua para su correcta funcionabilidad. El proyecto se centró inicialmente en la cuenca media-baja, planteando las siguientes estrategias para mitigar sus déficits hídricos: llevar registros mensuales del control de calidad de agua y del volumen explotado por comuna, realizar más campañas de SEVs para generar el (modelo geométrico y matemático del acuífero, y así poder conocer el estado de la intrusión salina), reforestación de zonas boscosas cercanas al acuífero y a las zonas de recarga e Implementación de cultivos sostenibles, emplear métodos de recarga artificial de acuíferos (diques o tapes), promoción de la importancia del manejo sostenible del agua (actividades participativas), con la finalidad de mejorar la administración del agua y potencializar las actividades agropecuarias del sector, finalmente la capacitación al personal de la JAAPR-Valdivia y a la comunidad, sobre el manejo sostenible de los recursos hídricos.

Uno de los beneficios del modelo socio-hidrogeológico es la integración social de los habitantes de la zona, ya que les otorga un sentido de pertenencia y favorece las actividades de gestión sostenible de la cuenca. Una de las limitaciones del proyecto es la dependencia de la participación social, ya que sin ella no se puede ejecutar las actividades descritas en este proyecto. El modelo marca el principio de varios estudios en la zona, y direcciona a la JAAPR-Valdivia hacia la sostenibilidad de los recursos hídricos.

5.2 Recomendaciones

Para la ejecución del modelo socio-hidrogeológico, se aconseja establecer fuertes vínculos entre el personal de la JAAPR-Valdivia y los comuneros, para impulsar la participación de ambas partes en la ejecución del proyecto y enfocarse en darles un sentido de pertenencia. Se debería plantear actividades participativas de fácil comprensión e interactivas para motivar a la comunidad a formar parte de ellas.

Es recomendable continuar con los controles mensuales de parámetros físico-químicos, mediciones de niveles estáticos y dinámicos de los pozos en la zona de estudio; para elaborar una base de datos de registros de calidad de agua de los pozos de la cuenca del río Valdivia.

Vale destacar que la realización de más campañas de SEVs, con la finalidad de poder realizar un modelo geométrico y matemático del acuífero, podrían facilitar la ejecución del balance hídrico de la cuenca y evaluar la condición actual del acuífero.

Además, se sugiere realizar un mapa topográfico detallado del río Valdivia y de zonas de recarga de la cuenca, esto facilitaría la ubicación estratégica de nuevos diques/tapes y pozos de agua.

Finalmente, se recomienda ejecutar las estrategias planteadas en el modelo para mejorar la gestión sostenible del agua en el sector, como: evitar la explotación excesiva del acuífero para que la intrusión salina no invada la zona de agua dulce; aplicación de técnicas para mitigar la intrusión salina; preservar el ecosistema, evitando contaminarlo con desperdicios; reforestación de zonas boscosas cercanas al acuífero y a las zonas de recarga; implementación de cultivos sostenibles y llevar un control de la cantidad de agua empleada en las actividades agrícolas y en las industrias; implementar instrumentos legales para el control efectivo del manejo de agua; instalación de adecuados sistemas de alcantarillados que se puedan controlar por comuna; apoyo por parte de organismos gubernamentales para la gestión sostenible de la cuenca hidrográfica; capacitación al personal de la JAAPR-Valdivia y a la comunidad, del manejo sostenible de los recursos hídricos; y promover la importancia del manejo sostenible del agua (actividades participativas).

BIBLIOGRAFÍA

- Alianza Jatun Sacha (2002). Sistema Hídrico Nacional del Ecuador.
- Astudillo-Sánchez, E., Pérez, J., Troccoli, L., & Aponte, H. (2019). Composición, estructura y diversidad vegetal de la Reserva Ecológica Comunal Loma Alta, Santa Elena, Ecuador. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. <http://rev.mex.biodivers.unam.mx/index.php/es/reserva-ecologica-comunal/>
- Bear, J., Cheng, A., Sorek, S., Ouazar, D., & Herrera, I. (Eds.). (1999). *Seawater intrusion in coastal aquifers: concepts, methods and practices* (Vol. 14). Springer Science & Business Media.
- Benítez, S. (1995). Évolution géodynamique de la province côtière sudéquatorienne au Crétacé supérieur - Tertiaire. *Géology Alpine*. doi: <http://doi.org/1995\r95gre10071>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (1998). Hidrometeorología . *Enciclopedia Británica* . <https://www.britannica.com/science/hydrometeorology>
- Brooks, K., Ffolliott, P., Gregersen, H., & DeBano, L. (2003). *Hydrology and the Management of Watersheds* (No. Ed. 3). Iowa State University Press.
- CIPAT-ESPOL, & SENAGUA. (2014). Proyecto Mapa Hidrogeológico a escala 1:250.000, Informe inédito. Retrieved from file:///C:/Users/Wimindows10/Downloads/4_MAPA HIDROGEOLOGICO ESPOL.pdf
- Fetter, C. (2018). *Applied hydrogeology*. Waveland Press.
- Fluence. (2017). ¿Qué es la Escasez de Agua? <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-escasez-de-agua/>
- Gasulla M. (1999). Obtención de Imágenes de la distribución de impedancia eléctrica en el subsuelo. Aplicación a la detección de objetos locales. Universidad Politécnica de Cataluña. 193 p.
- Güneralp, B., & Güneralp, I. (2015). Conceptualizing an application of sociohydrology to predict the long-term effects of drainage projects on. *Texas A&M Geography*.

<https://slidetodoc.com/conceptualizing-an-application-of-sociohydrology-to-predict-the/>

Groundwater Foundation. (2018). The Groundwater Foundation : Get Informed : The Basics : What is Groundwater. Groundwater. <https://www.groundwater.org/get-informed/basics/whatis.html>

INAMHI. (s. f.). Tiempo Rio Valdivia – Historial Meteorológico Mensual| freemeteo.ec. freemeteo. <https://freemeteo.ec/eltiempo/rio-valdivia/historia/historial-mensual/?gid=3650304&station=23062&month=6&year=2021&language=spanish&country=ecuador>

Herrera, G. (2015). Estudio para un Modelo de Gestión de un Acuífero Costero, mediante Metodologías Participativas y Análisis Geoestadístico en el marco del Desarrollo Local. Manglaralto, Ecuador.

Herrera, G., Montalván, N., Carrión, P., Bravo, L. (2021). "Worldwide Research on Socio-Hydrology: A Bibliometric Analysis" *Water* 13, no. 9: 1283. <https://doi.org/10.3390/w13091283>

Jaillard, É., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., & Zambrano, I. (1995). Basin Development in an Accretionary, Oceanic-Floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador During Late Cretaceous-Late Eocene Time. AAPG Memoir.

Jiménez, E., Robalino, C., & López, R. (2011). Sistemas de drenajes y agua de riego en la cuenca alta, media y baja del río valdivia.

Ley de Aguas. (2014). Ley Orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. Quito-Ecuador: Registro Oficial N° 305, p.7.

Liu, D., Tian, F., Lin, M., & Sivapalan, M. (2015). A conceptual socio-hydrological model of the co-evolution of humans and water: case study of the Tarim River basin, western China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 1035-1054.

Lindao, J. & Polonio, L. (2014). Evaluación del potencial de licuefacción de suelos en la zona de Chipipe del cantón Salinas (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.).

- Madani, K., & Shafiee-Jood, M. (2020). Socio-Hydrology: A New Understanding to Unite or a New Science to Divide?. *Water*, 12(7), 1941.
- Marchant, S. (1961). A photogeological analysis of the structure of the western Guayas province, Ecuador: with discussion of the stratigraphy and Tablazo Formation, derived from surface mapping. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 117(1-4), 215-231.
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2016). Sustainability. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/world-water-day-water-crisis-explained>
- Mera, M., & Guamán, V. (2019). Gobernanza del agua en comunas rurales de Santa Elena. *Mundos Plurales-Revista Latinoamericana de Políticas y Acción Pública*, 6(1), 121-143.
- Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil, 119 p.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). OMS | Guías para la calidad del agua potable, tercera edición. WHO. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/
- Peck, E. (1978). Hydrometeorology. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 59(5), 609-612.
- Post, V. (2005). Fresh and saline groundwater interaction in coastal aquifers: is our technology ready for the problems ahead? *Hydrogeology Journal*, 13(1), 120-123.
- Salako, A., & Adepelumi, A. (2018). Aquifer, classification and characterization. *Aquifers-matrix and fluids*, 11-31.
- Sivapalan, M., Savenije, H. y Blöschl, G. (2012). Sociohidrología: una nueva ciencia de las personas y el agua. *Procesos hidrológicos*, 26 (8), 1270-1276. doi: 10.1002 / hyp.8426
- SNI. (2019). Sistema Nacional de Información. www.sni.gob.ec.
- Sterman, J. (2000). *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*; McGraw Hill: Boston, MA, USA, ISBN 0-07-231135-5.

- TULSMA. (2017). Norma de la calidad de agua ambiental y de descarga de efluentes. Quito-Ecuador. Registro N°3516, Libro VI, Anexo 1.
- USGS. (2018). Groundwater is the area underground where openings are full of water. <https://www.usgs.gov/media/images/groundwater-area-underground-where-openings-are-full-water>
- Valencia, J. (2017). “Análisis Hidrogeológico de la Cuenca del Río Manglaralto para la Caracterización de sus Sistemas Acuíferos” [ESPOL]. <http://bazica.org/facultad-de-ingenieria-en-ciencias-de-la-tierra.html?page=4>
- Water Balance Estimation. (2019). SSWM - Find Tools for Sustainable Sanitation and Water Management! <https://sswm.info/sswm-university-course/module-4-sustainable-water-supply/further-resources-water-sources-software/water-balance-estimation>

APÉNDICES

Apéndice A: Planillas de campañas de SEVs

Tabla A. 1 Planilla de datos del SEV-01.

CÓDIGO:	SEV01-VAL	CROQUIS Cauce del río california 150 m de dique de cuenca media N10°W
FECHA:	29/5/2021	
OPERADOR:		
COORDENADAS X:	535354	
COORDENADAS Y:	9786910	
COORDENADAS Z:	18	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (mili*ohm)	Resistividad (ohm*metro)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	6736.6	50.79
2	1.47	0.2	16.66	2887.6	48.11
3	2.15	0.2	35.99	934.52	33.63
4	3.16	0.2	78.11	255.21	19.93
5	4.64	0.2	168.78	63.34	10.69
6	4.64	0.5	66.85	151.41	10.12
7	6.81	0.2	363.92	92.698	33.73
8	6.81	0.5	144.91	138.49	20.07
9	10	0.5	313.37	52.264	16.38
10	14.7	0.5	678.08	23.957	16.24
11	14.7	2	166.58	72.783	12.12
12	21.5	0.5	1451.42	125.42	182.04
13	21.5	2	359.91	172.74	62.17
14	31.6	2	781.13	27.739	21.67
15	46.4	2	1687.79	17.951	30.30
16	46.4	5	668.52	22.546	15.07
17	68.1	2	3639.24	7.7896	28.35
18	68.1	5	1449.1	9.4392	13.68
19	100	5	3133.75	4.1809	13.10
20	100	10	1555.09	5.7126	8.88
21	147	5	6780.83	18.207	123.46
22	147	10	3378.63	17.081	57.71
23	215	10	7245.3	5.2812	38.26
24	215	20	3599.09	9.5894	34.51

Tabla A. 2 Planilla de datos del SEV-02.

CÓDIGO:	SEV02-VAL	CROQUIS Cauce del río california Sector carrizal N133°
FECHA:	29/5/2021	
OPERADOR:		
COORDENADAS X:	535642	
COORDENADAS Y:	9787654	
COORDENADAS Z:	25	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K	(mili*ohm)	(ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	6481	48.87
2	1.47	0.2	16.66	2548.5	42.46
3	2.15	0.2	35.99	1033.4	37.19
4	3.16	0.2	78.11	397.7	31.06
5	4.64	0.2	168.78	153.55	25.92
6	4.64	0.5	66.85	368.37	24.63
7	6.81	0.2	363.92	52.508	19.11
8	6.81	0.5	144.91	135.43	19.63
9	10	0.5	313.37	47.661	14.94
10	14.7	0.5	678.08	21.769	14.76
11	14.7	2	166.58	77.503	12.91
12	21.5	0.5	1451.42	3.1842	4.62
13	21.5	2	359.91	32.617	11.74
14	31.6	2	781.13	42.065	32.86
15	46.4	2	1687.79	7.4292	12.54
16	46.4	5	668.52	15.338	10.25
17	68.1	2	3639.24	6.3355	23.06
18	68.1	5	1449.1	9.7771	14.17
19	100	5	3133.75	4.0974	12.84
20	100	10	1555.09	6.7031	10.42

Tabla A. 3 Planilla de datos del SEV-03.

CÓDIGO:	SEV03-VAL	CROQUIS Cauce del río california Sector carrizal N64°
FECHA:	29/5/2021	
OPERADOR:		
COORDENADAS X:	536669	
COORDENADAS Y:	9788002	
COORDENADAS Z:	32	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K	(mili*ohm)	(ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	9143.7	68.94
2	1.47	0.2	16.66	4086.8	68.09
3	2.15	0.2	35.99	1512.9	54.45
4	3.16	0.2	78.11	496.23	38.76
5	4.64	0.2	168.78	136.9	23.11
6	4.64	0.5	66.85	316.33	21.15
7	6.81	0.2	363.92	45.908	16.71
8	6.81	0.5	144.91	104.13	15.09
9	10	0.5	313.37	44.01	13.79
10	14.7	0.5	678.08	22.522	15.27
11	14.7	2	166.58	59.67	9.94
12	21.5	0.5	1451.42	6.31	9.16
13	21.5	2	359.91	23.451	8.44
14	31.6	2	781.13	10.41	8.13
15	46.4	2	1687.79	7.658	12.93
16	46.4	5	668.52	19.44	13.00
17	68.1	2	3639.24	4.583	16.68
18	68.1	5	1449.1	5.883	8.53
19	100	5	3133.75	6.329	19.83
20	100	10	1555.09	8.819	13.71

Tabla A. 4 Planilla de datos del SEV-04.

CÓDIGO:	SEV04-VAL	CROQUIS Cauce del río california Sector carrizal N50°E
FECHA:	29/5/2021	
OPERADOR:		
COORDENADAS X:	536948	
COORDENADAS Y:	9788621	
COORDENADAS Z:	34	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K	(mili*ohm)	(ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	17745	133.80
2	1.47	0.2	16.66	7404.8	123.36
3	2.15	0.2	35.99	2917.3	104.99
4	3.16	0.2	78.11	1043	81.47
5	4.64	0.2	168.78	326.1	55.04
6	4.64	0.5	66.85	654.47	43.75
7	6.81	0.2	363.92	82.617	30.07
8	6.81	0.5	144.91	166.22	24.09
9	10	0.5	313.37	36.236	11.36
10	14.7	0.5	678.08	12.789	8.67
11	14.7	2	166.58	41.627	6.93
12	21.5	0.5	1451.42	17.74	25.75
13	21.5	2	359.91	17.748	6.39
14	31.6	2	781.13	5.966	4.66
15	46.4	2	1687.79	9.0325	15.24
16	46.4	5	668.52	13.375	8.94
17	68.1	2	3639.24	10.888	39.62
18	68.1	5	1449.1	12.254	17.76
19	100	5	3133.75	11.032	34.57
20	100	10	1555.09	12.34	19.19
21	147	5	6780.83	5.456	37.00
22	147	10	3378.63	14.837	50.13

Tabla A. 5 Planilla de datos del SEV-05.

CÓDIGO:	SEV05-VAL	CROQUIS
FECHA:	30/05/2021	
OPERADOR:		
COORDENADAS X:	533388	
COORDENADAS Y:	9786177	
COORDENADAS Z:	14	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	7,021.600	52.780
2	1.47	0.2	16.66	3348.7	55.810
3	2.15	0.2	35.99	1415.5	35.990
4	3.16	0.2	78.11	546.82	42.710
5	4.64	0.2	168.78	210.53	35.530
6	4.64	0.5	66.85	445.1	28.750
7	6.81	0.2	363.92	76.215	27.740
8	6.81	0.5	144.91	148.62	21.540
9	10	0.5	313.37	38.758	12..15
10	14.7	0.5	678.08	13.703	9.290
11	14.7	2	166.58	46.179	7.690
12	21.5	0.5	1451.42	3.7348	5.410
13	21.5	2	359.91	14.844	5.340
14	31.6	2	781.13	7.178	5.610
15	46.4	2	1687.79	3.3099	5.590
16	46.4	5	668.52	7.4592	4.896
17	68.1	2	3639.24	4.8466	17.650
18	68.1	5	1449.1	6.5566	9.510
19	100	5	3133.75	7.6569	24.000
20	100	10	1555.09	11.026	17.150
21	147	5	6780.83		
22	147	10	3378.63		
23	215	10	7245.3		
24	215	20	3599.09		

Tabla A. 6 Planilla de datos del SEV-06.

CÓDIGO:	SEV06-VAL	CROQUIS
FECHA:	30/05/2021	
OPERADOR:		
COORDENADAS X:	533944	
COORDENADAS Y:	9785989	
COORDENADAS Z:	18	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	924.330	6.970
2	1.47	0.2	16.66	364.05	6.070
3	2.15	0.2	35.99	143.29	5.160
4	3.16	0.2	78.11	60.015	4.670
5	4.64	0.2	168.78	24.835	4.190
6	4.64	0.5	66.85	60.299	4.030
7	6.81	0.2	363.92	11.479	4.180
8	6.81	0.5	144.91	27.846	4.040
9	10	0.5	313.37	12.324	3.860
10	14.7	0.5	678.08	5.9801	4.050
11	14.7	2	166.58	28.717	4.780
12	21.5	0.5	1451.42	3.0593	4.440
13	21.5	2	359.91	15.05	5.420
14	31.6	2	781.13	7.095	5.540
15	46.4	2	1687.79	2.387	4.030
16	46.4	5	668.52	6.9677	4.660
17	68.1	2	3639.24	0.6948	2.510
18	68.1	5	1449.1	2.7346	3.960
19	100	5	3133.75	1.4369	4.500
20	100	10	1555.09	3.3884	5.270
21	147	5	6780.83	2.0832	14.13
22	147	10	3378.63	2.9786	10.06

Tabla A. 7 Planilla de datos del SEV-07.

CÓDIGO:	SEV 07-VAL	CROQUIS
FECHA:	30/05/2021	
OPERADOR:		
COORDENADAS X:	534343	
COORDENADAS Y:	9786253	
COORDENADAS Z:	22	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	7,215.800	54.440
2	1.47	0.2	16.66	2,861.80	47.650
3	2.15	0.2	35.99	1,128.80	40.670
4	3.16	0.2	78.11	425.69	33.250
5	4.64	0.2	168.78	139.53	23.550
6	4.64	0.5	66.85	345.18	23.075
7	6.81	0.2	363.92	45.832	16.680
8	6.81	0.5	144.91	113.36	16.430
9	10	0.5	313.37	30.964	9.160
10	14.7	0.5	678.08	11.438	7.760
11	14.7	2	166.58	41.214	6.870
12	21.5	0.5	1451.42	3.7692	5.470
13	21.5	2	359.91	17.36	6.240
14	31.6	2	781.13	22.344	17.450
15	46.4	2	1687.79	26.84	45.300
16	46.4	5	668.52	35.108	23.470
17	68.1	2	3639.24	29.487	107.310
18	68.1	5	1449.1	36.812	53.344
19	100	5	3133.75	7.954	24.410
20	100	10	1555.09	9.6604	15.020

Tabla A. 8 Planilla de datos del SEV-08.

CÓDIGO:	SEV08-VAL
FECHA:	30/05/2021
OPERADOR:	
COORDENADAS X:	534840
COORDENADAS Y:	9786421
COORDENADAS Z:	18

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K	(m ohm)	(ohm m)
1	1	0.2	7.54	17,613.000	132.780
2	1.47	0.2	16.66	8,351.60	139.110
3	2.15	0.2	35.99	3,587.40	129.096
4	3.16	0.2	78.11	1,301.90	101.540
5	4.64	0.2	168.78	379.72	64.089
6	4.64	0.5	66.85	887.14	59.305
7	6.81	0.2	363.92	72.185	26.270
8	6.81	0.5	144.91	204.31	29.610
9	10	0.5	313.37	21.738	6.810
10	14.7	0.5	678.08	16.363	11.095
11	14.7	2	166.58	61.267	10.210
12	21.5	0.5	1451.42	4.8107	6.980
13	21.5	2	359.91	17.691	6.370
14	31.6	2	781.13	8.2745	6.460
15	46.4	2	1687.79	3.5092	5.920
16	46.4	5	668.52	8.8536	5.920
17	68.1	2	3639.24	19.135	69.640
18	68.1	5	1449.1	20.993	30.420
19	100	5	3133.75	5.1604	16.170
20	100	10	1555.09	6.8545	10.660

Apéndice B: Resultados de interpretaciones de SEVs

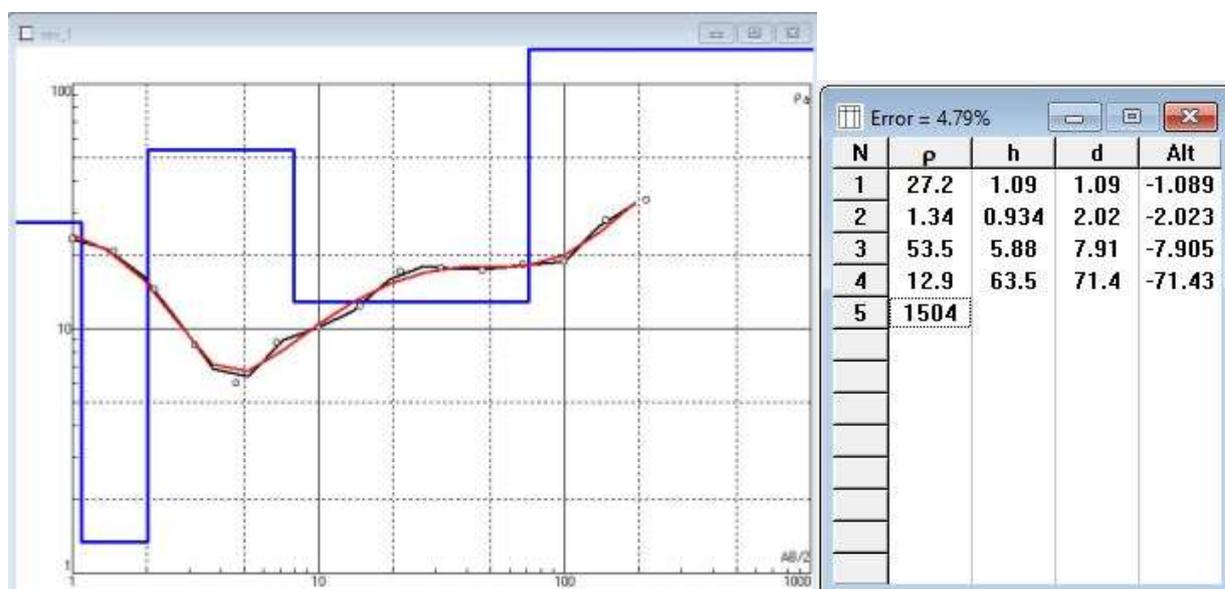


Figura B. 1 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-01.

Tabla B. 1 Capas de resistividad resultantes del SEV-01.

N°	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	1.09	1.09	27.2	Material permeable (arenas)
2	0.934	2.02	1.34	Material muy poco permeable (arenas posiblemente con material calcáreo)
3	5.88	7.91	53.5	Material muy permeable posiblemente (arenas con gravas saturadas de agua)
4	63.5	71.4	12.9	Arenas saturadas posiblemente con material calcáreo
5	-	-	1504	Posible continuidad de material muy permeable (gravas y arena posiblemente saturada de agua)

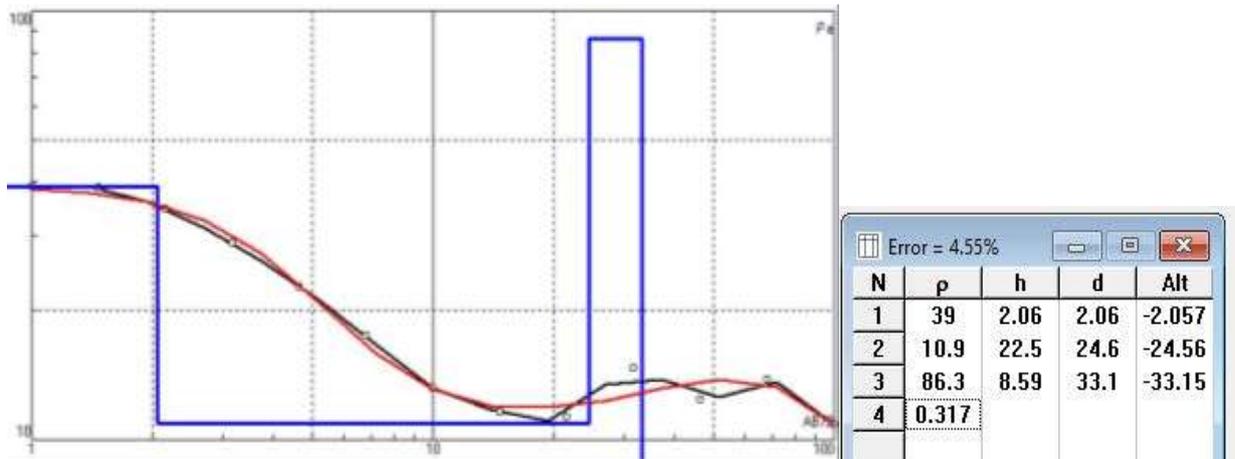


Figura B. 2 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-02.

Tabla B. 2 Capas de resistividad resultantes del SEV-02.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	2.06	2.06	39	Material permeable (Arenas)
2	22.5	24.6	10.9	Material poco permeable (arenas con posible material calcáreo)
3	8.59	33.1	86.3	Material muy permeable (arenas con gravas posiblemente saturadas de agua)
4	-	-	0.317	Posible continuidad de material poco permeable (posiblemente arcillas con material calcáreo)

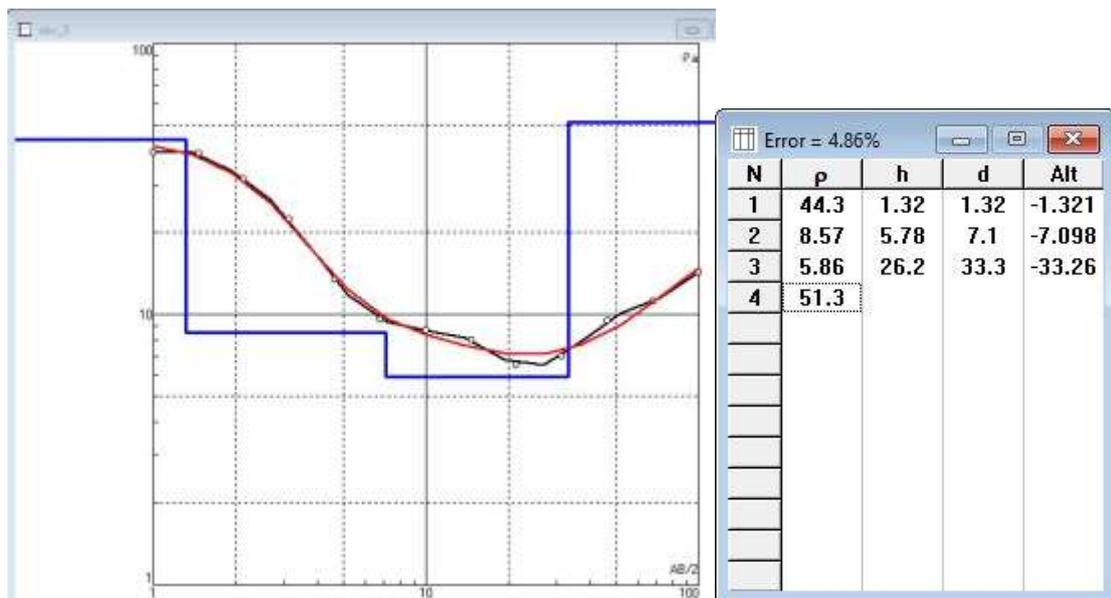


Figura B. 3 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-03.

Tabla B. 3 Capas de resistividad resultantes del SEV-03.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	1.32	1.32	44.3	Material muy permeable (Arenas con gravas)
2	5.78	7.1	8.57	Material muy poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)
3	26.2	33.3	5.86	Material muy poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)
4	-	-	51.3	Posible continuidad de material muy permeable (posiblemente arenas con gravas)

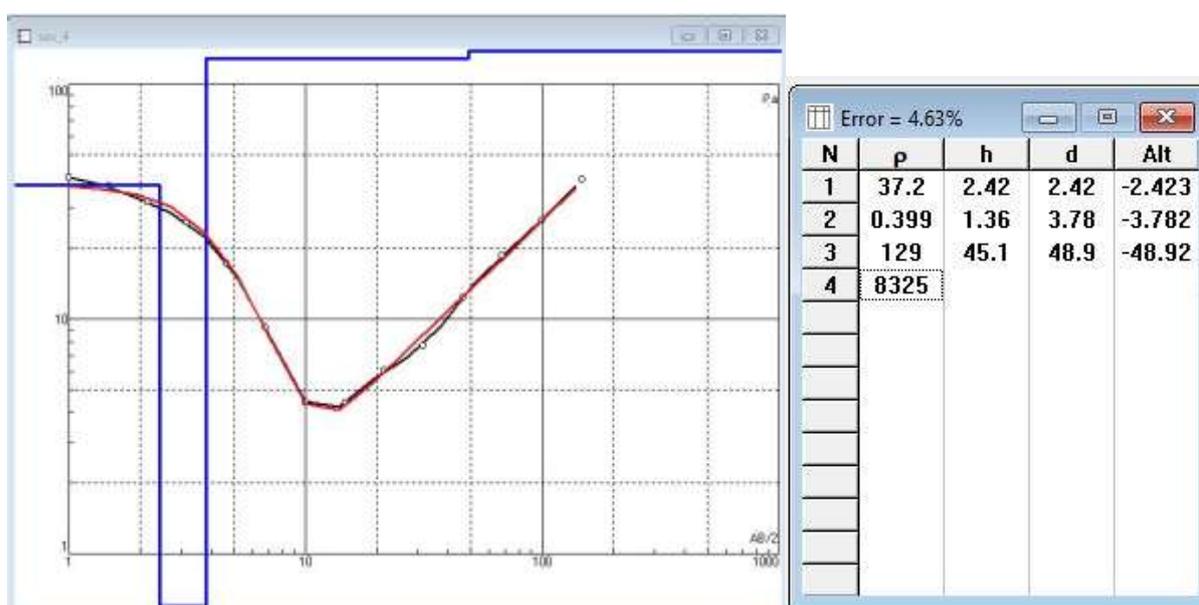


Figura B. 4 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-04.

Tabla B. 4 Capas de resistividad resultantes del SEV-04.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	2.42	2.42	37.2	Material permeable (arenas)
2	1.36	3.78	0.399	Material muy poco permeable (arenas con arcillas)
3	45.1	48.9	129	Material muy permeable (arenas con gravas posiblemente saturadas con agua)
4	-	-	8325	Posible continuidad de material muy permeable (gravas saturadas con agua)

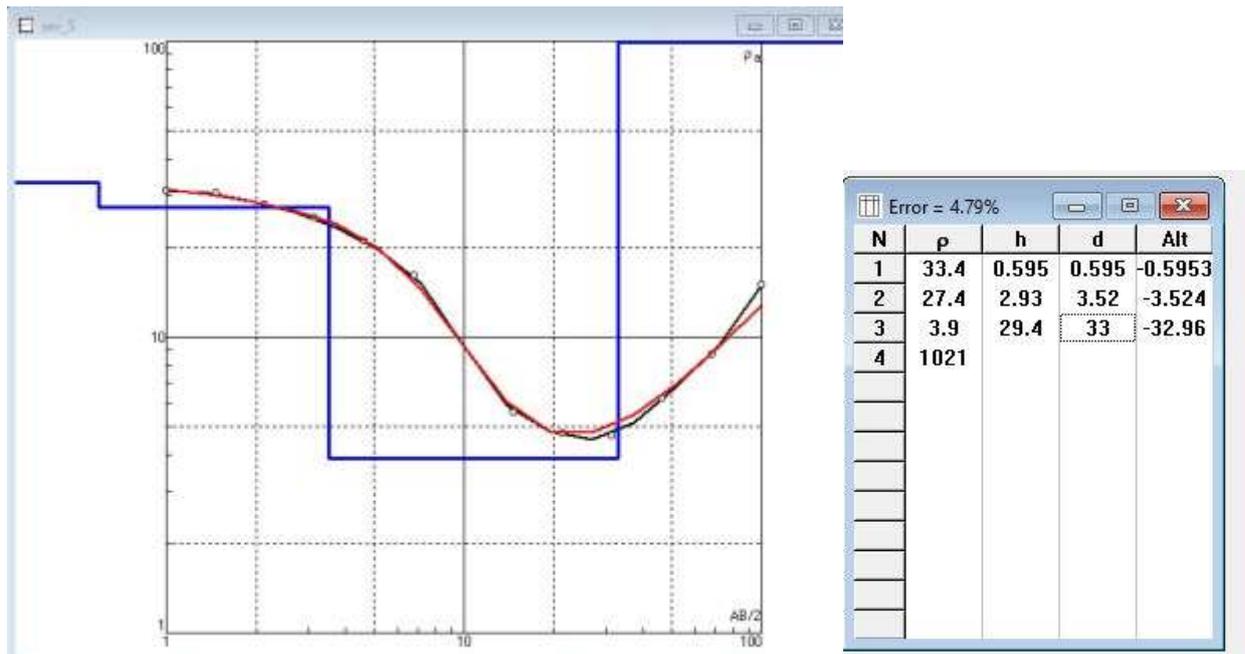


Figura B. 5 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-05.

Tabla B. 5 Capas de resistividad resultantes del SEV-05.

N°	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	0.595	0.595	33.4	Material permeable (Arenas)
2	2.93	3.52	27.4	Material poco permeable (arenas con arcillas)
3	29.4	33	3.9	Material muy poco permeable (posiblemente arcillas con material calcáreo)
4	-	-	1021	Posible material muy permeable (arenas con gravas saturadas con agua)



Figura B. 6 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-06.

Tabla B. 6 Capas de resistividad resultantes del SEV-06.

N°	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	0.786	0.786	9.71	Material poco permeable (Arenas con arcillas)
2	6.27	7.06	4.87	Material muy poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)
3	5.46	12.5	11.5	Material poco permeable (arenas con arcillas)
4	36.4	48.9	2.62	Posible continuidad de material poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)
5	-	-	806	Material muy permeable (posiblemente arcillas con gravas saturadas con agua)

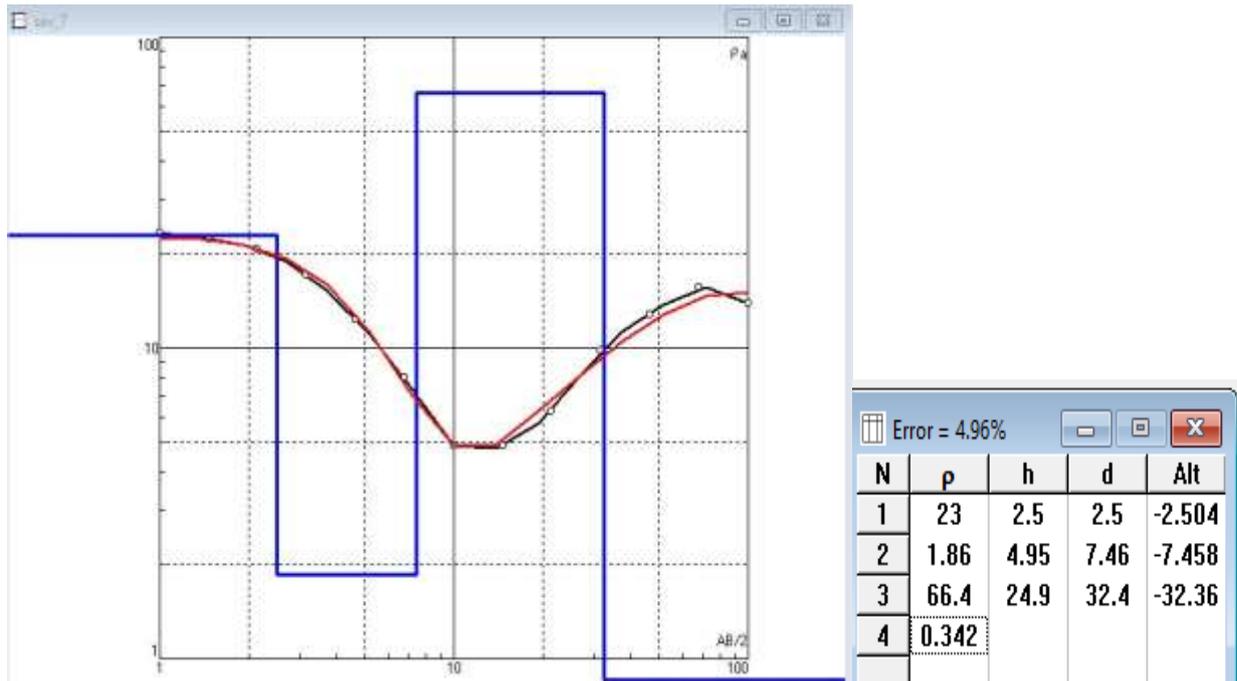


Figura B. 7 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-07.

Tabla B. 7 Capas de resistividad resultantes del SEV-07.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	2.5	2.5	23	Material permeable (Arenas)
2	4.95	7.46	1.86	Material muy poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)
3	24.9	32.4	66.4	Material muy permeable (posiblemente arenas con gravas)
4	-	-	0.342	Posible continuidad de material poco permeable (arcillas con posible material calcáreo)

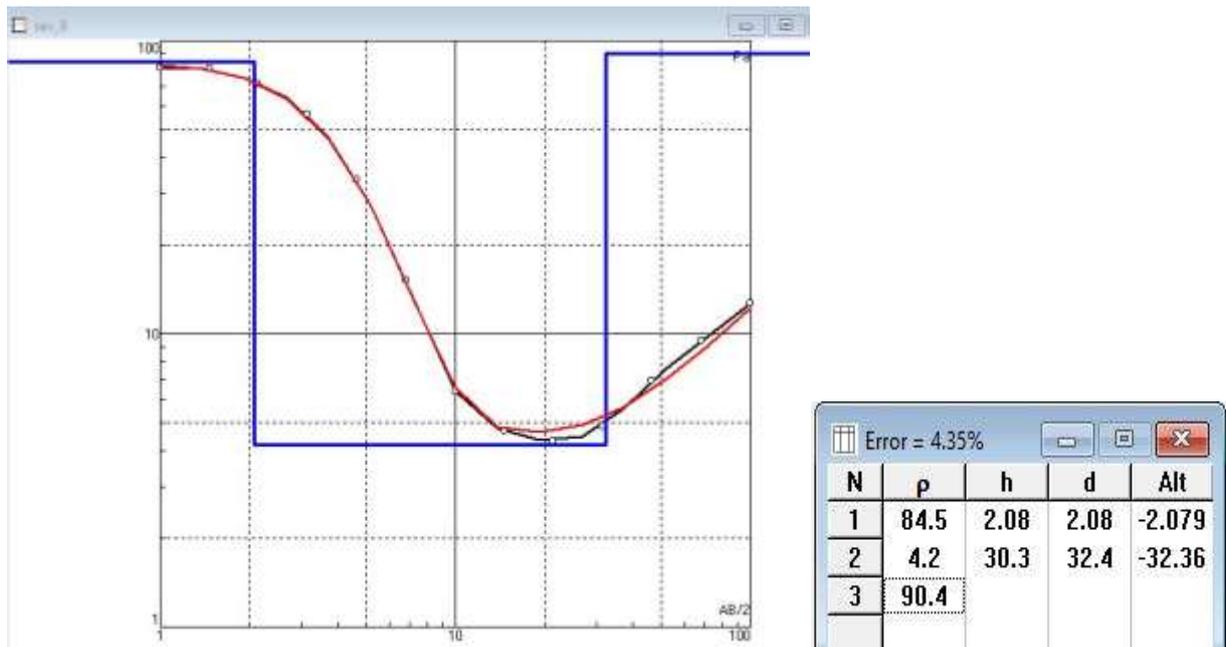


Figura B. 8 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-08.

Tabla B. 8 Capas de resistividad resultantes del SEV-08.

N°	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	2.08	2.08	84.5	Material muy permeable (arenas con gravas)
2	30.3	32.4	4.2	Material muy poco permeable (arcillas con material calcáreo)
3	-	-	90.4	Posible continuidad de material muy permeable (arenas con gravas)

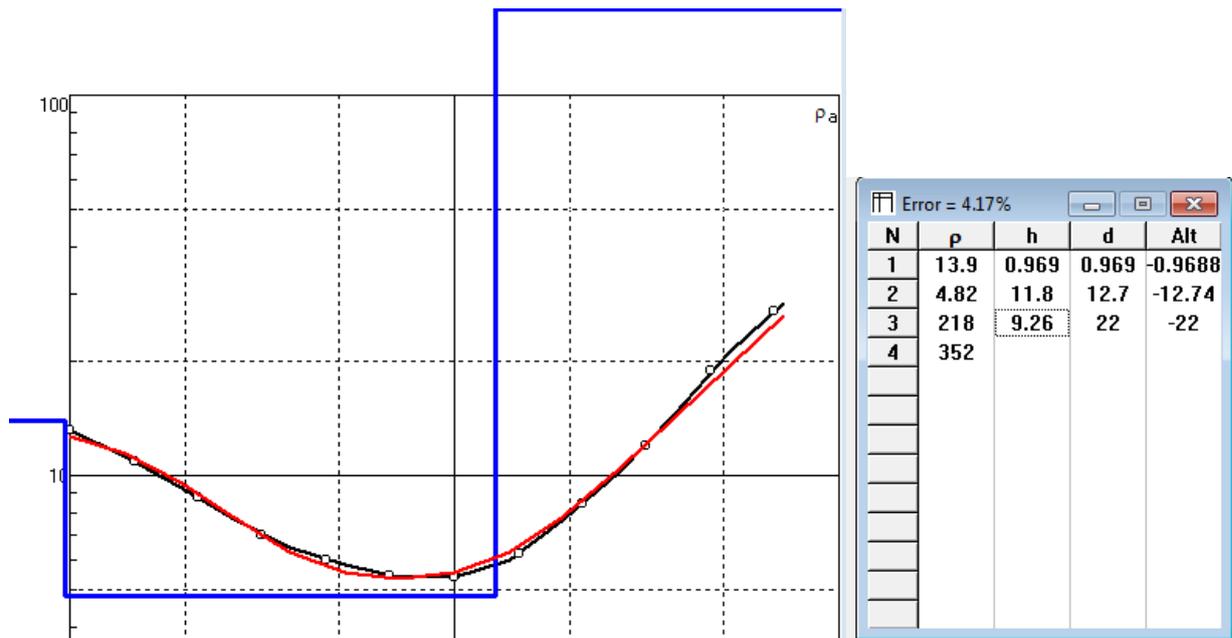


Figura B. 9 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-09.

Tabla B. 9 Capas de resistividad resultantes del SEV-09.

N°	Esesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	0.969	0.969	13.9	Suelo areno-limoso
2	11.8	12.7	4.82	Material muy poco permeable.
3	9.26	22	218	Material permeable.
4	-	-	352	(Gravas y arenas)

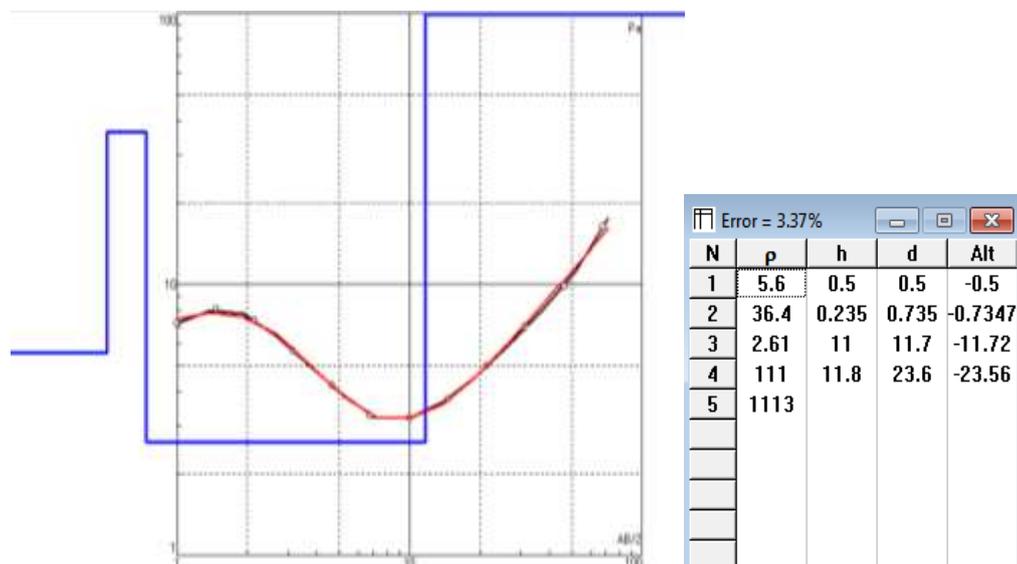


Figura B. 10 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-10.

Tabla B. 10 Capas de resistividad resultantes del SEV-10.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	0.5	0.5	5.6	Suelo areno-limoso
2	0.235	0.735	36.4	Material poco permeable
3	11	11.7	2.61	Material muy permeable. (Gravas y arenas) Posible nivel freático.
4	11.8	23.6	111	Material muy permeable.
5	-	-	1113	(Roca fracturada)

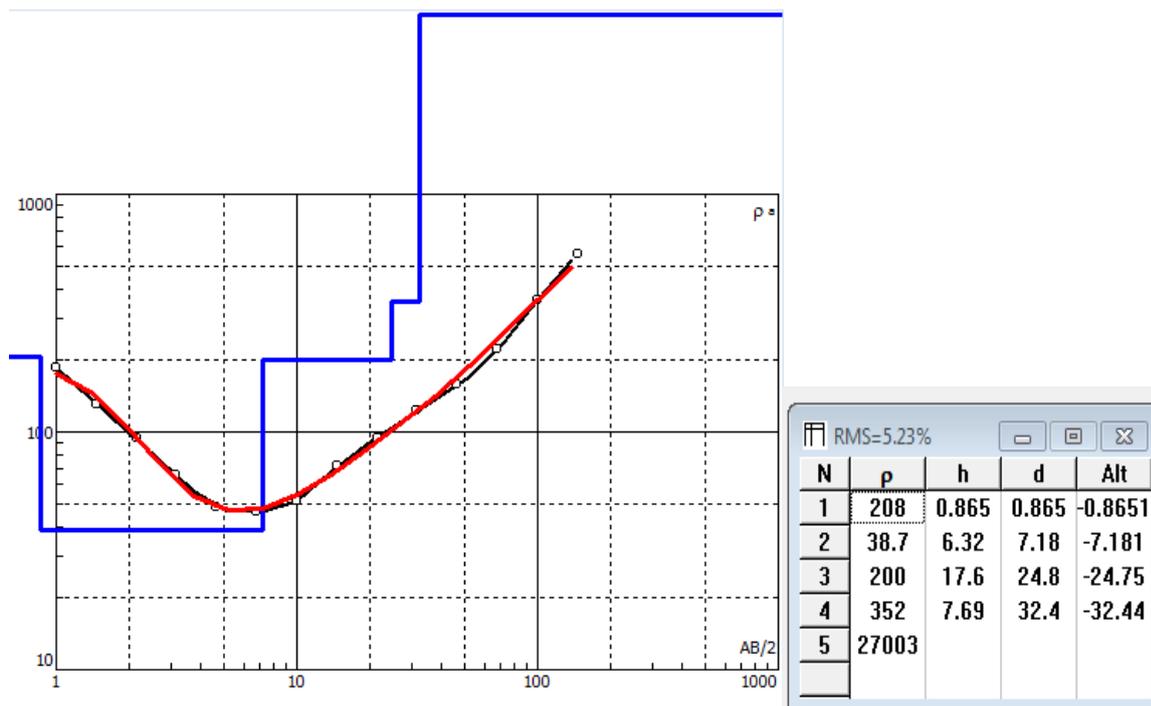


Figura B. 11 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-11.

Tabla B. 11 Capas de resistividad resultantes del SEV-11.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	0.865	0.865	208	Suelo areno-limoso
2	6.32	7.18	38.7	Material poco permeable
3	17.6	24.8	200	Material muy permeable. (Gravas y arenas) Posible nivel freático.
4	7.69	32.4	352	Material muy permeable.
5	-	-	27003	(Roca fracturada)

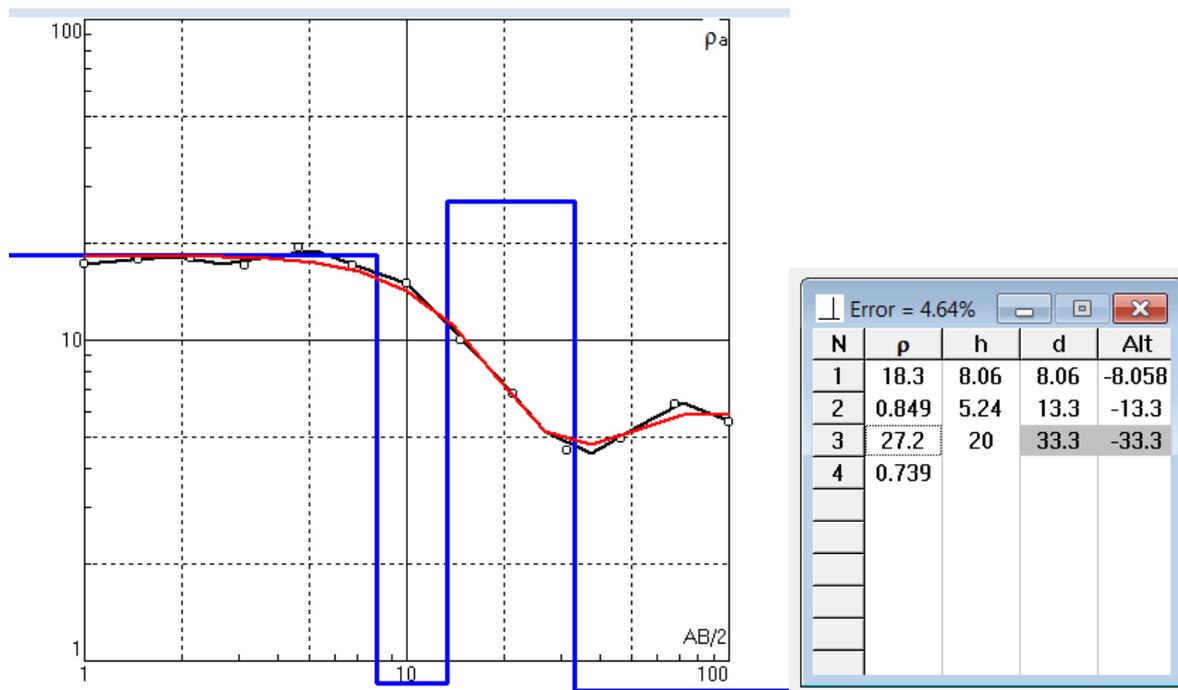


Figura B. 12 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-12.

Tabla B. 12 Capas de resistividad resultantes del SEV-12.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	8.06	8.06	18.3	Suelo limo-arcilloso
2	5.24	13.3	0.849	Material muy poco permeable (Arcillas)
3	20	33.3	27.2	Material permeable
4	-	-	0.739	Posible continuidad de material muy poco permeable

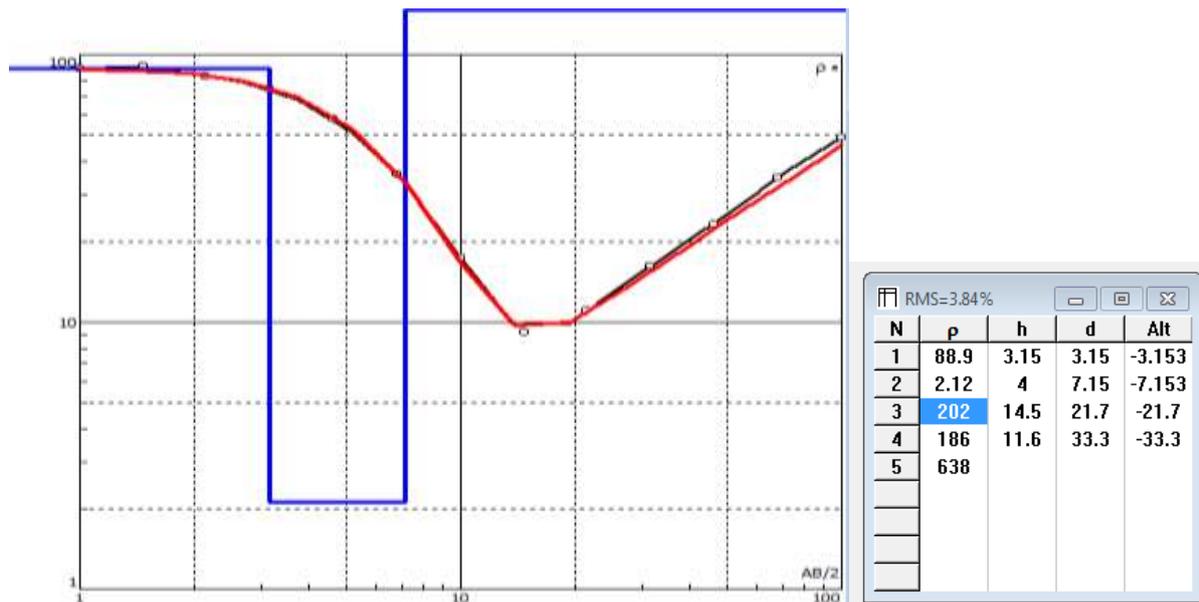


Figura B. 13 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-13.

Tabla B. 13 Capas de resistividad resultantes del SEV-13.

N°	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	3.15	3.15	88.9	Suelo limo-arcilloso
2	4	7.15	2.12	Material poco permeable (arcillas)
3	14.5	21.7	202	Material permeable
4	11.6	33.3	186	(Gravas y arenas)
5	-	-	638	Material permeable

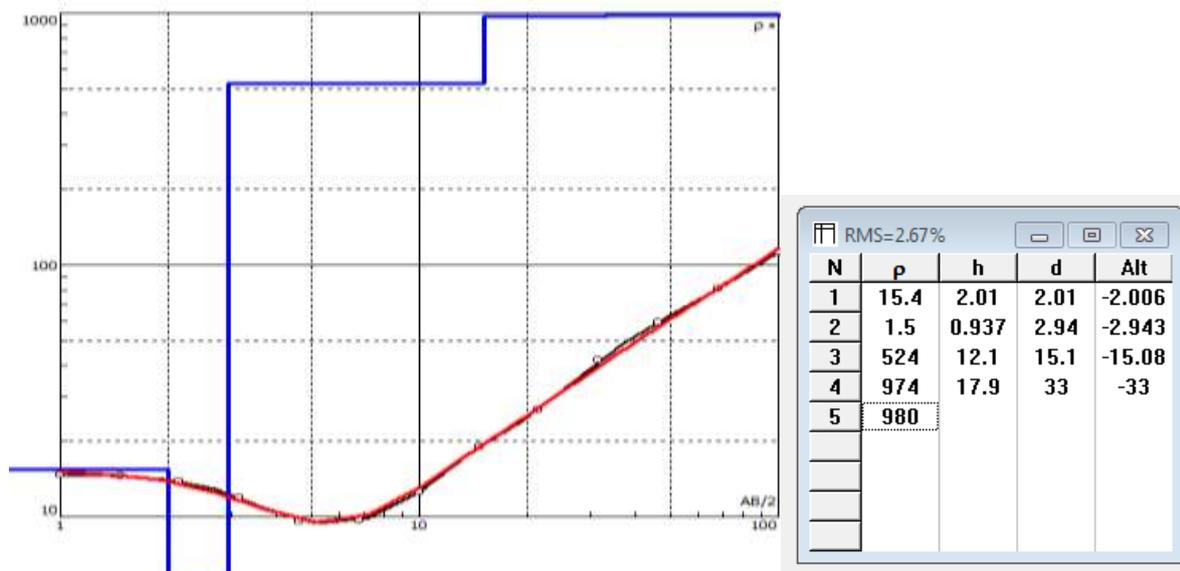


Figura B. 14 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-14.

Tabla B. 14 Capas de resistividad resultantes del SEV-14.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	2.01	2.01	15.4	Suelo limo-arcilloso
2	0.937	2.94	1.5	Material muy poco permeable (Arcillas limosas)
3	12.1	15.1	524	Material muy permeable (Gravas y arenas)
4	17.9	33	974	Posible presencia de agua.
5	-	-	980	Material muy permeable (Gravas y arenas)

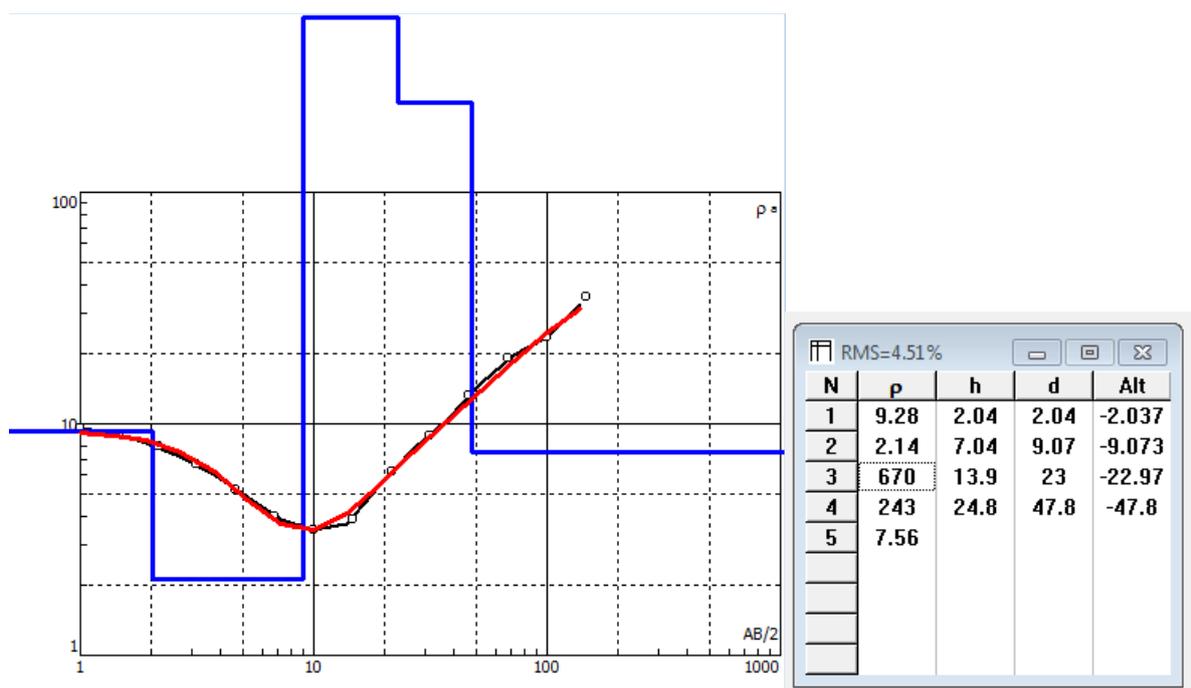


Figura B. 15 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-15.

Tabla B. 15 Capas de resistividad resultantes del SEV-15.

Nº	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	2.04	2.04	9.28	Suelo limo-arcilloso
2	7.04	9.07	2.14	Material muy poco permeable
3	13.9	23	670	Material muy permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua.
4	24.8	47.8	243	Material permeable
5	-	-	7.56	(Gravas y arenas)

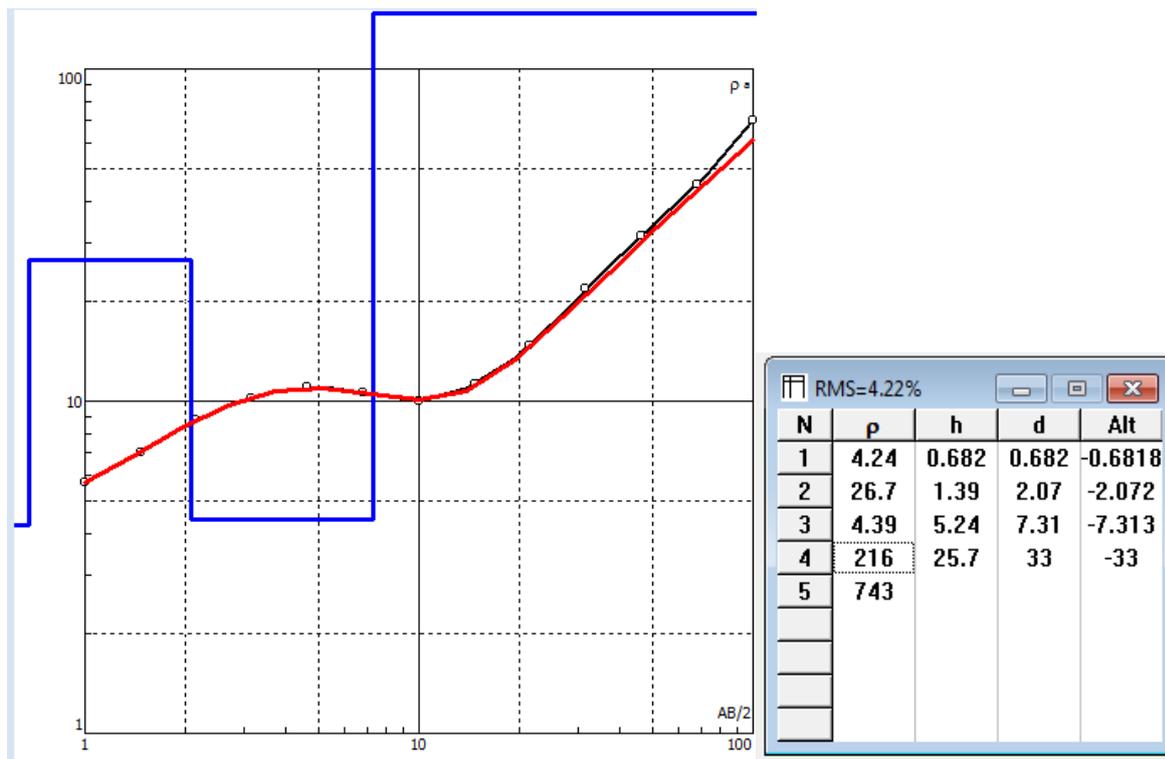


Figura B. 16 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-16.

Tabla B. 16 Capas de resistividad resultantes del SEV-16.

N°	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	0.682	0.682	4.24	Suelo limo -arcilloso
2	1.39	2.07	26.7	Material permeable
3	5.24	7.31	4.39	Material muy poco permeable
4	25.7	33	216	Material permeable
5	-	-	743	Gravas y arenas. Posible presencia de agua.

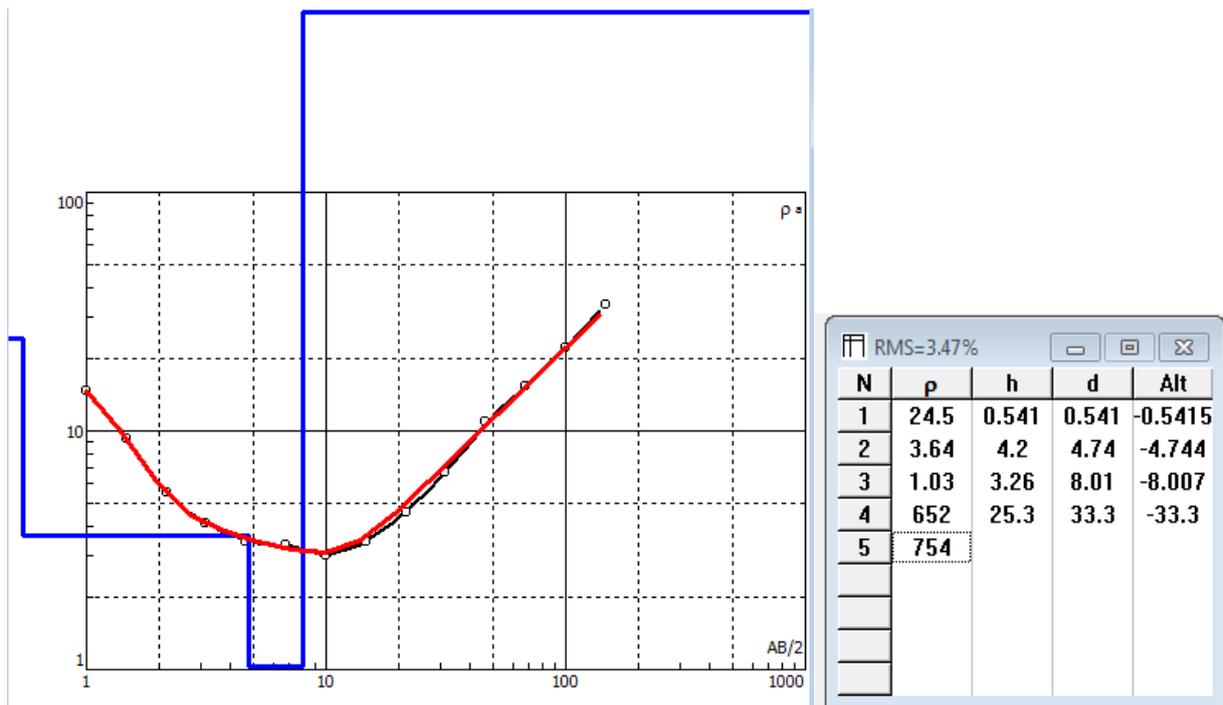


Figura B. 17 Resultados de interpretación en ipi2win curva de resistividad y resistividades aparente del SEV-17.

Tabla B. 17 Capas de resistividad resultantes del SEV-17.

N°	Espesor	Profundidad	Resistividad	Descripción
1	0.541	0.541	24.5	Suelo arcilloso con gravilla.
2	4.2	4.74	3.64	Material muy poco permeable
3	3.26	8.01	1.03	Material muy poco permeable
4	25.3	33.3	652	Material muy permeable (Gravas y arenas)
5	-	-	754	Posible presencia de agua.

Apéndice C: Precipitaciones anuales

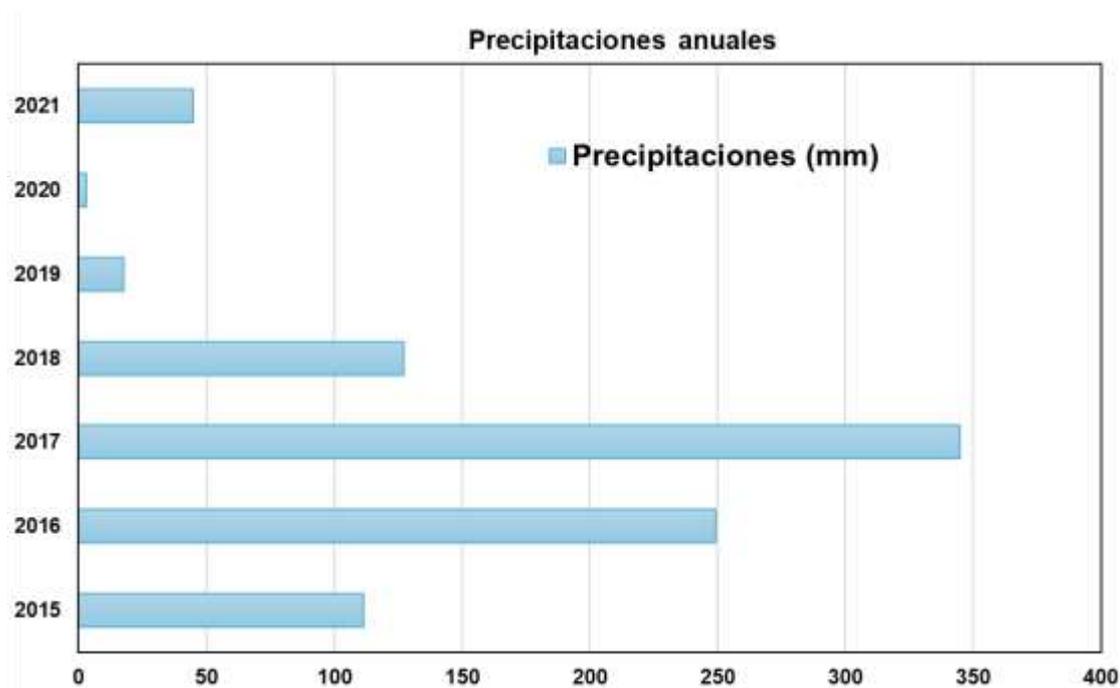


Figura C. 1 Precipitaciones anuales del período de enero 2015-mayo 2021 de la cuenca del río Valdivia, tomados de la estación meteorológica El Suspiro (código: M0245).

Elaborado con datos del: (INAMHI, s. f.).

Apéndice D: Actividades participativas



Figura D. 1 Reunión con el Presidente de la Junta de Agua Potable del Valle del Valdivia, Presidente Comuna Sinchal.



Figura D. 2 Recorrido preliminar por los pozos de la Junta de Agua Potable del Valle del Valdivia.



Figura D. 3 Evidencia de la sequía del río Valdivia.



Figura D. 4 Entrevista con pobladores de la cuenca del río Valdivia.



Figura D. 5 Actividad FODA realizada con personas que integran a las comunas de Sinchal, Barcelona, Carrizal, Valdivia y San Pedro.

Apéndice E: Mapa hidrogeológico

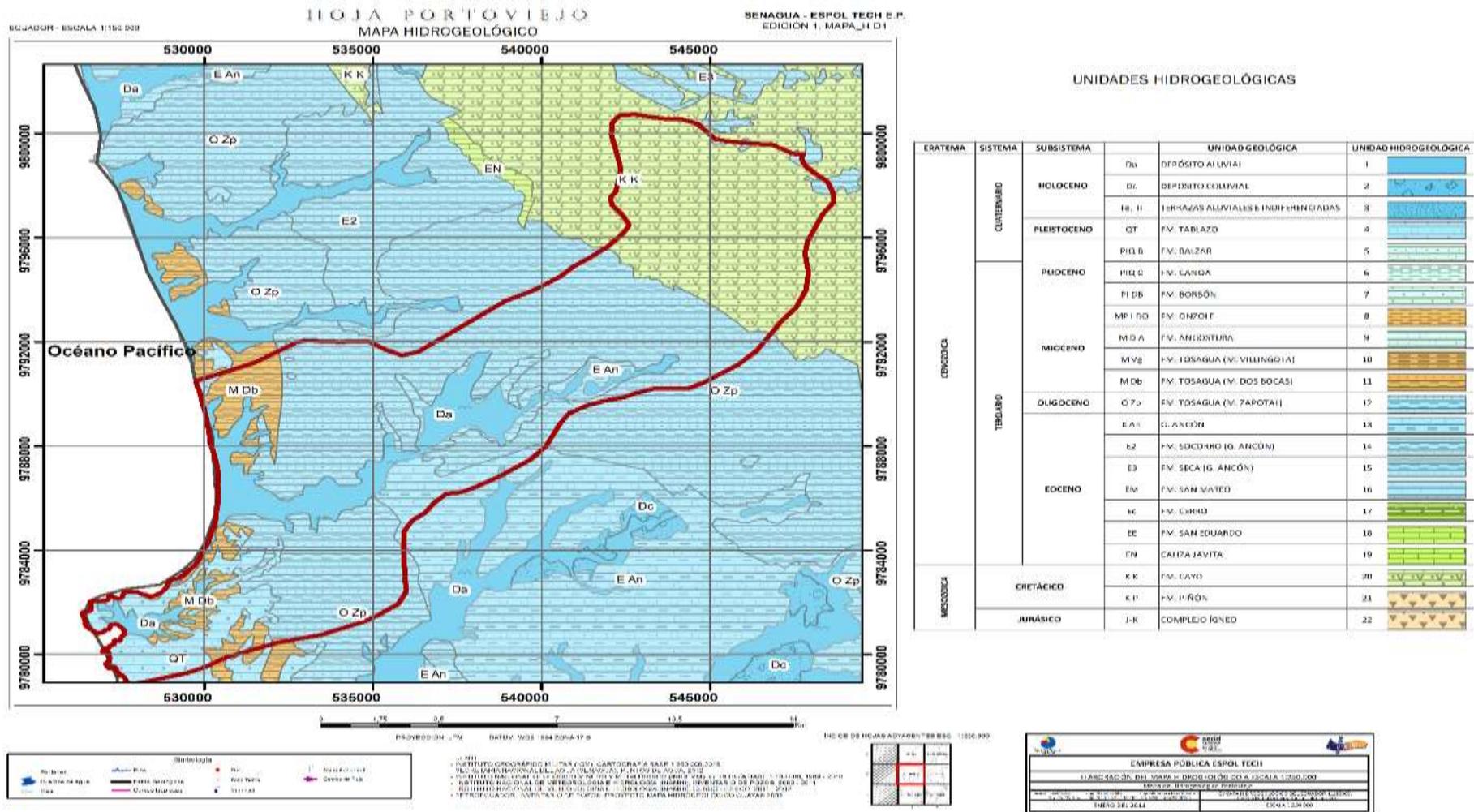


Figura E. 6 Mapa hidrogeológico de Portoviejo

Elaborado con datos del: (CIPAT-ESPOL & SENAGUA, 2014)

Modelo socio-hidrogeológico aplicado a la gestión sostenible del agua en la JAAPR-Valdivia(Santa Elena-Ecuador).

PROBLEMA

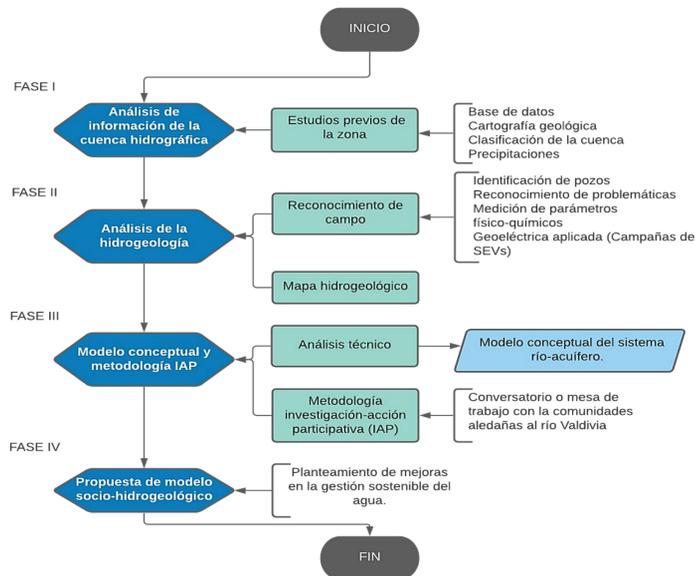
La comunidad aledaña al río Valdivia, en los últimos años ha presentado escasez de los recursos hídricos. En épocas de sequía la situación se agrava debido a la influencia del fenómeno de La Niña, cuyo impacto provoca un mayor desabastecimiento de este líquido vital afectando directamente al sector económico.

OBJETIVO GENERAL

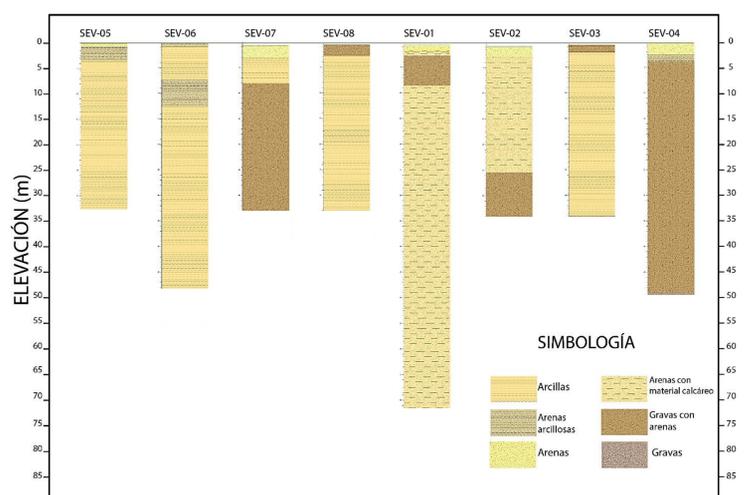
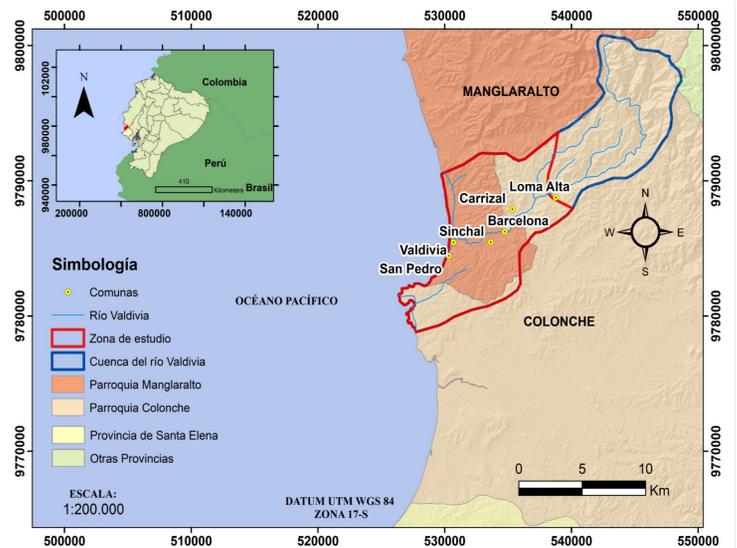
Evaluar las condiciones naturales y antrópicas de la cuenca del río Valdivia, mediante la generación de un modelo socio-hidrogeológico para el desarrollo de actividades productivas en un ámbito de sostenibilidad.

PROPUESTA

Con la propuesta de modelo socio-hidrogeológico se busca integrar los conocimientos o aspectos técnicos (geología, geofísica e hidrogeología) con los aspectos sociales con la finalidad de encaminar a las juntas administradoras de agua potable hacia la sostenibilidad de los recursos hídricos.



Mapa de ubicación de la zona de estudio

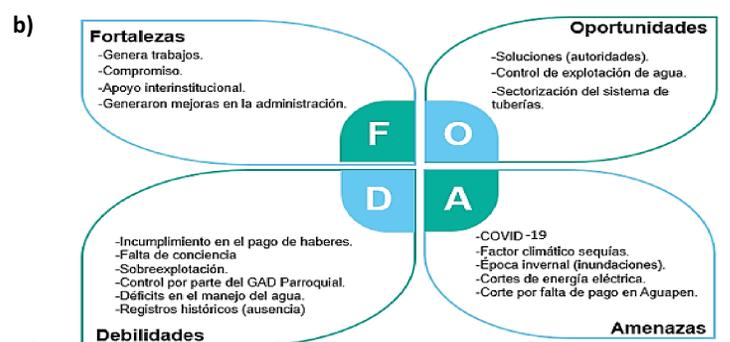
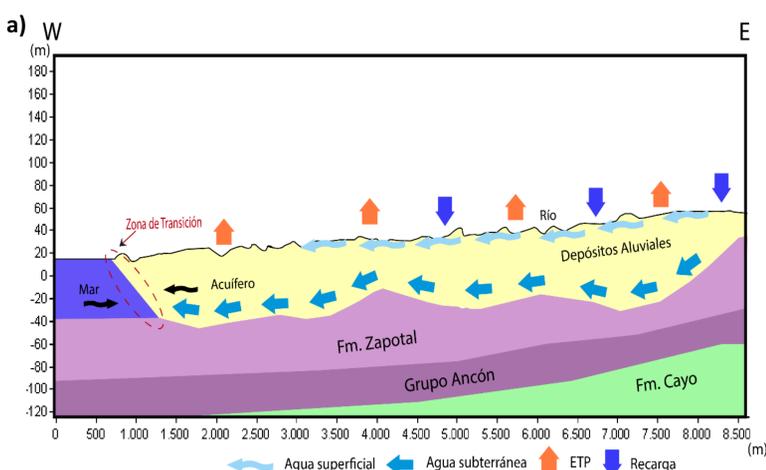


Propuesta de modelo socio-hidrogeológico



RESULTADOS

- Modelo conceptual inicial del sistema río acuífero.
- Matriz FODA elaborada con el personal de JAAPR-Valdivia.
- Problemáticas y estrategias obtenidas con el modelo socio-hidrogeológico.



CONCLUSIONES

- Se identificó el contexto general de una cuenca hidrográfica 91.62 km^2 , mediante una propuesta de modelo socio-hidrogeológico. Para una población de 6552 habitantes, con necesidades claves en el sector respecto a sus actividades productivas y sociales.
- Se pudo comprender que el sector económico y turístico dependen del agua y que la comunidad emplea sus conocimientos ancestrales para obtener agua en época de estiaje, de acuerdo al análisis de las interacciones de las comunidades que integran a la JAAPR-Valdivia con la cuenca hidrográfica.
- Se generó un modelo conceptual inicial del sistema río-acuífero que permitió entender que la cuenca tiene la fluencia de vertientes donde la terraza aluvial de 12 m de ancho y 56,18 km de largo acumula materiales de arenas, arcillas y gravas, guardando las características de un acuífero costero libre y detrítico.
- Se logró zonificar los sectores que guardan mayor dependencia de recursos hídricos para su correcta funcionalidad, los cuales son: la cabecera de la cuenca (RECLA), la cuenca media-baja (zona de producción agrícola) y finalmente la zona costera (zona turística).