

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Aplicación de la geoelectrica para la caracterización hidrogeológica en la
comuna “La Aguadita”, Santa Elena.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Geología

Presentado por:

Favio Antonio Cano Alvarado

Luis Alejandro Sanango Ochoa

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a mi madre Neyra Mabel Alvarado Basurto, la persona más importante en mi vida, sin ella no hubiera llegado a lograr esta meta. A mi hermano Diego Cano que está en el cielo. Mi mayor ejemplo a seguir. A mis tíos de la familia Cano por su apoyo incondicional, en especial a mi Tío Wilfrido Cano y su esposa. Gracias a todos por su grano de arena. Esto es una suma de esfuerzos de uds.

Favio Cano

A mi figura paterna, mi tío José Ochoa que Dios lo tiene en su gloria. A mi madre Blanca Ochoa y mi hermana Diana Sanango, las personas más importantes en mi vida, quiénes me han brindado su motivación y apoyo incondicional durante esta etapa.

Luis Sanango

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a todos los profesores que formaron parte de mi vida estudiantil, gracias por sus conocimientos. En especial un agradecimiento al director del CIPAT Dr. Paúl Carrión por la ayuda brindada en la ejecución del proyecto. Al MSc. Peter Olaya por su apoyo en conocimientos y experiencias.

A los colaboradores de CIPAT por su apoyo en las salidas de campo. En especial a Ximena, Leslie y Mariuxi. Gracias por gran disposición de avanzar con el proyecto.

Favio Cano

AGRADECIMIENTOS

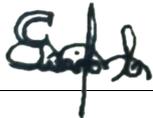
A mi tutor, el MSc. Peter Olaya, quién con su gran conocimiento y experiencia, nos acompañó a lo largo de este trayecto. Al PhD. Paúl Carrión por su confianza y ayuda brindada para llevar a cabo el proyecto.

A los colaboradores de CIPAT, la Ing. Ximena y Don Carlos, por la ayuda brindada. Así también, a mis compañeras Mariuxi Jaime y Leslie Calderón por el apoyo y trabajo realizado.

Luis Sanango

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Favio Cano* y *Luis Sanango*, damos nuestro 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”



Favio Cano



Luis Sanango

EVALUADORES

.....
MSc. David Altamirano

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
MSc. Peter Olaya

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La provincia de Santa Elena cuenta con acuíferos que han sido caracterizados y explotados por sus comunidades durante muchos años debido a la escasez de agua. Consecuentemente, el agua subterránea se ha convertido en su única fuente de abastecimiento y desarrollo. En la zona central de esta provincia se encuentra el área de estudio, la comuna “La Aguadita”, en la parroquia Colonche. Los habitantes de este sector no poseen acceso a agua potable ni alcantarillado, el abastecimiento de agua se da por tanqueros y pozos artesanales de agua; por este motivo, las personas optan por migrar otros sitios, quedando en la comuna alrededor de 205 personas; el principal motor económico de esta población es la ganadería. Este proyecto tiene como objetivo, evaluar la hidrogeología de la comuna “La Aguadita” mediante la aplicación de la geoelectrónica para la identificación de posibles zonas de aprovechamiento de aguas subterráneas. La metodología aplicada se resume en las siguientes fases: i) recopilación de información base, ii) análisis de parámetros hidrogeológicos; iii) levantamiento litológico y exploración por Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs); iv) interpretación y correlación de resultados litológicos y geofísicos; v) determinación de las posibles zonas de explotación y directrices para un plan de abastecimiento sostenible. Los resultados indicaron que existe un acuífero libre de gravas y arenas a una profundidad aproximada de 3 metros, puede tener entre 23 a 35 metros de espesor con resistividades de los 12 a 36 Ω m. Finalmente, la zona es apta para la explotación del recurso que beneficie a las actividades de ganadería.

Palabras Clave: Acuífero, SEVs, aguas subterráneas, caracterización hidrogeológica y “La Aguadita”.

ABSTRACT

The province of Santa Elena has aquifers that have been characterized and exploited by its communities for many years due to water scarcity. Consequently, groundwater has become their only source of supply and development. The study area is located in the central zone of this province, the "La Aguadita" commune, in the Colonche parish. The inhabitants of this sector do not have access to drinking water or sewage systems; water is supplied by tankers and artesian wells; for this reason, people choose to migrate to other places, leaving about 205 people in the commune. The objective of this project is to evaluate the hydrogeology of the "La Aguadita" commune through the application of geoelectrics for the identification of possible groundwater exploitation zones. The methodology applied is summarized in the following phases: i) collection of baseline information; ii) analysis of hydrogeological parameters; iii) lithological survey and exploration by Vertical Electrical Sounding (SEVs); iv) interpretation and correlation of lithological and geophysical results; v) determination of potential exploitation zones and guidelines for a sustainable supply plan. The results indicated that there is a free aquifer of gravels and sands at an approximate depth of 3 meters, may be between 23 to 35 meters thick with resistivities of the 12 to 36 Ω m. Finally, the area is suitable for the exploitation of the resource to benefit livestock activities.

Keywords: *Aquifer, SEVs, groundwater, hydrogeological characterization, and "La Aguadita".*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	VI
RESUMEN.....	VII
<i>ABSTRACT</i>	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS	XIII
SIMBOLOGÍA	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Justificación del problema.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Marco teórico	6
1.4.1 Precipitación.....	6
1.4.2 Evapotranspiración.....	6
1.4.3 Red hidrográfica	7
1.4.4 Cuenca hidrográfica	7
1.4.5 Microcuenca	7
1.4.6 Hidrometeorología.....	8
1.4.7 Hidrogeología	8

1.4.8	Acuíferos	8
1.4.9	Tipos de acuíferos.....	9
1.4.10	Relación entre el tipo de roca y la formación de acuífero.....	10
1.4.11	Métodos geofísicos	11
1.4.12	Acuíferos costeros.....	11
1.4.13	Recarga artificial.....	12
1.5	Marco geográfico y geomorfológico	12
1.6	Marco geológico	14
1.6.1	Formación Cayo (Cretácico Superior)	15
1.6.2	Formación Tablazo (Pleistoceno).....	16
1.6.3	Grupo Ancón (Eoceno medio-superior).....	16
1.6.4	Formación San Eduardo (Eoceno Medio)	17
1.6.5	Formación Tosagua (Mioceno Inferior-Mioceno Medio)	18
1.6.6	Formación Progreso (Mioceno Superior)	18
1.6.7	Grupo Azúcar	18
1.6.8	Depósitos aluviales (Holoceno).....	19
1.7	Marco tecto-estructural	19
CAPÍTULO 2.....		23
2.	Metodología	23
2.1	Equipos y softwares.....	23
2.1.1	Equipos	23
2.1.2	Softwares	25
2.2	Metodología general	25
2.2.1	Fase I: Revisión de la información base.....	27
2.2.2	Fase II: Análisis de parámetros hidrogeológicos	30

2.2.3	Fase III: Mapa litológico y sondeos eléctricos verticales	33
2.2.4	Fase IV: Interpretación y correlación de resultados litológicos y geofísicos	37
2.2.5	Fase IV: Determinación de las posibles zonas de explotación.....	37
CAPÍTULO 3.....		38
3.	Resultados y Análisis	38
3.1	Análisis multitemporal	38
3.2	Balance hídrico	39
3.3	Inventario de pozos	41
3.4	Medición del nivel estático	43
3.5	Medición de parámetros fisicoquímicos	44
3.6	Cálculo del cabezal hidráulico	45
3.7	Mapa de isopiezas.....	48
3.8	Levantamiento litológico	49
3.9	Sondeos eléctricos verticales	52
3.9.1	SEV 1	53
3.9.2	SEV 2	54
3.9.3	SEV 3	55
3.9.4	SEV 4	56
3.9.5	SEV 5	57
3.9.6	SEV 6	58
3.10	Perfiles geoeléctricos.....	59
3.10.1	Correlación de perfiles geoeléctricos	61
3.11	Mapas de resistividad	65
3.12	Mapa de zonas potenciales	67

3.13	Directrices para un plan de abastecimiento sostenible	67
CAPÍTULO 4.....		69
4.	Conclusiones y Recomendaciones	69
4.1	Conclusiones	69
4.2	Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFÍA.....		71
ANEXOS.....		75

ABREVIATURAS

AQUASTAT	Sistema Mundial de Información de la FAO sobre el Agua en la Agricultura
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Conductividad
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
DÉF	Déficit
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ETP	Evapotranspiración potencial
ETR	Evapotranspiración real
EXC	Excedentes
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IGM	Instituto Geográfico Militar
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada
m. E.	Metros hacia el este
m. S.	Metros hacia al sur
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
MPY	Milésimas de pulgadas por año
MRCCC	Mary River Catchment Coordinating Committee
NACE	National Association of Corrosion Engineer
NE	Noreste
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Precipitación
R	Resistencia
RES	Reserva

S	Salinidad
SEV	Sondeo eléctrico vertical
SNI	Sistema Nacional de Información
SO	Suroeste
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
T	Temperatura
TDS	Total de sólidos disueltos
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UTM	Universal Transverse Mercator

SIMBOLOGÍA

%	Por ciento
°C	Grados Celsius
°N	Grados hacia el norte
°S	Grados hacia al sur
Fm	Formación
g	Gramos
g/cm ³	Gramos por centímetros cúbicos
g/l	Gramo por litro
Hm ³	Hectómetro cúbico
Km ²	Kilómetro cuadrado
Km ³ /año	Kilómetro cúbico por año
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
mm/año	Milímetro por año
ms/cm	Milisiemens por centímetro
oz	Onzas
pH	Potencial de Hidrógeno
uS/cm	Microsiemens por centímetro
V	Voltios
Ω cm	Ohmios por centímetros
Ω m	Ohmios por metro
<	Menor que

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Mapa de ubicación de la comuna “La Aguadita”</i>	13
<i>Figura 1.2 Mapa de ubicación de la cuenca Río Javita y microcuenca Río Hondo</i> ...	14
<i>Figura 1.3 Geología de la microcuenca del Río Javita</i>	15
<i>Figura 1.4 Margen costero de América del Sur</i>	20
<i>Figura 1.5 Mapa estructural del margen ecuatoriano</i>	21
<i>Figura 1.6 Mapa estructural de Santa Elena</i>	22
<i>Figura 2.1 Esquema metodológico</i>	26
<i>Figura 2.2 Esquema de pozo</i>	31
<i>Figura 2.3 A. Toma de nivel estático del pozo. B. Medición de parámetros físicos del agua de pozo</i>	31
<i>Figura 2.4 Esquema de componentes verticales de flujos</i>	32
<i>Figura 2.5 A. Aplicación de la herramienta spline en el ArcMap. B. Aplicación de la primera derivada sobre la grid de isopiezas en el Surfer</i>	33
<i>Figura 2.6 A. Reconocimiento de afloramientos y estructuras. B. Medición de rumbo y buzamiento de capas</i>	34
<i>Figura 2.7 A. Colocación de electrodos. B. Toma de datos a través del SEV</i>	34
<i>Figura 2.8 Diagrama básico de un sondeo eléctrico vertical</i>	35
<i>Figura 2.9 Arreglo electrodos de Schlumberger</i>	36
<i>Figura 2.10 Valores de resistividad según el tipo de roca</i>	37
<i>Figura 3.1 Análisis multitemporal para el periodo 1961-2013</i>	38
<i>Figura 3.2 Análisis de periodos secos y húmedos</i>	39
<i>Figura 3.3 Esquema del balance hídrico</i>	40
<i>Figura 3.4 Mapa de ubicación de pozos y albardas</i>	41
<i>Figura 3.5 Ubicación del perfil topográfico</i>	46

<i>Figura 3.6 Esquema de red de flujo de los pozos 1-4, y la albarrada 1</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.7 Mapa de isopiezas de la comuna “La Aguadita”</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.8 Mapa de las estaciones para la descripción litológica</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.9 Mapa litológico del área de estudio.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.10 Esquema litológico del área de estudio</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.11 Mapa de ubicación de los SEVs</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.12 Curva de resistividad SEV 1</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.13 Curva de resistividad SEV 2</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3.14 Curva de resistividad SEV 3</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3.15 Curva de resistividad SEV 4</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3.16 Curva de resistividad SEV 5</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.17 Curva de resistividad SEV 6</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3.18 Leyenda perfiles geoelectricos</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.19 Perfil SEV 1</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.20 Perfil SEV 2</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.21 Perfil SEV 3</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.22 Perfil SEV 4</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.23 Perfil SEV 5</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.24 Perfil SEV 6</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.25 Mapa de correlaciones de perfiles geoelectricos</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.26 Correlación perfil geoelectrico SEV 3 y SEV 2</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.27 Correlación perfil geoelectrico SEV 4 y SEV 3</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.28 Correlación perfil geoelectrico SEV 1 Y SEV 5.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.29 Correlación perfil geoelectrico SEV 6 Y SEV 1.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.30 Correlación general de los SEVs 4, 3 y 2</i>	<i>64</i>

<i>Figura 3.31 Mapa de resistividad a 2 metros de profundidad</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.32 Mapa de resistividad a 24 metros de profundidad</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.33 Propuesta de zona potencial y pozos</i>	<i>67</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Equipos usados para la toma de datos en campo</i>	23
<i>Tabla 2.2 Softwares utilizados en el proyecto</i>	25
<i>Tabla 2.3 Resumen de la información recopilada</i>	27
<i>Tabla 2.4 Ficha del balance hídrico del suelo</i>	29
<i>Tabla 3.1 Balance hídrico del periodo 1990 – 2014</i>	39
<i>Tabla 3.2 Censo de pozos de la comuna “La Aguadita”</i>	42
<i>Tabla 3.3 Censo de las albardas de la comuna “La Aguadita”</i>	42
<i>Tabla 3.4 Medidas del nivel estático de septiembre a diciembre</i>	43
<i>Tabla 3.5 Medidas de parámetros fisicoquímicos del mes de septiembre</i>	44
<i>Tabla 3.6 Medidas de parámetros fisicoquímicos del mes de octubre</i>	44
<i>Tabla 3.7 Medidas de parámetros fisicoquímicos del mes de diciembre</i>	45
<i>Tabla 3.8 Cabezal hidráulico de los pozos de septiembre a diciembre</i>	46
<i>Tabla 3.9 Resumen de la descripción litológica de afloramientos</i>	50
<i>Tabla 3.10 Tabla de ubicación de sondeos</i>	52
<i>Tabla 3.11 Interpretación SEV 1</i>	53
<i>Tabla 3.12 Interpretación SEV 2</i>	54
<i>Tabla 3.13 Interpretación SEV 3</i>	55
<i>Tabla 3.14 Interpretación SEV 4</i>	56
<i>Tabla 3.15 Interpretación SEV 5</i>	57
<i>Tabla 3.16 Interpretación SEV 6</i>	58
<i>Tabla 3.17 Descripción mapa de resistividad a 2 m de profundidad</i>	66
<i>Tabla 3.18 Descripción mapa de resistividad a 24 m de profundidad</i>	66

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como un recurso fundamental para el desarrollo socioeconómico de un país y esencial para la supervivencia humana, su uso ha ido aumentando anualmente 1% desde 1980. El principal factor de este aumento constante es el desarrollo que han tenido algunos países, lo cual ha impulsado una serie de eventos como el crecimiento poblacional, desarrollo económico y nuevos modelos de consumo en progreso (AQUASTAT, 2018). Se considera que la demanda global de agua irá aumentando hasta el 2050 alrededor del 20 - 30% del uso actual del agua, puesto que se estima que la demanda de los sectores industrial y doméstico irá en aumento (Burek et al., 2016).

Ante el aumento continuo del consumo de agua, la degradación del ambiente y del recurso hídrico, resalta la necesidad de explorar nuevas fuentes de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas; si no se realiza este tipo de búsqueda, se proyecta que la población y la producción agropecuaria mundial se encontrará en riesgo para el 2050. De igual forma, la situación de las poblaciones de bajos recursos económicos y marginadas se verán agravadas desproporcionalmente (UNESCO, 2019). Por este motivo, se vuelve fundamental la búsqueda de fuentes de abastecimientos en depósitos subterráneos, porque son las grandes reservas de agua que posee la humanidad.

El agua subterránea provee el 50% del agua potable a nivel mundial y el 43% para el riego agrícola global; a su vez, contribuye con el 40% de alimentos producidos a nivel mundial. Los países de América del sur disponen de una alta capacidad de recursos hídricos, ubicándolos dentro de los primeros 30 países en tener una gran cantidad recursos hídricos renovables, el Ecuador se ubica en la posición 25 con 442 km³/año; en donde se destacan las vertientes hídricas del Amazonas como el principal recurso hídrico del país (AQUASTAT, 2018; Boggiano, 2019).

Ecuador es un país privilegiado porque cuenta con una gran cantidad de fuentes de agua e históricamente una gran parte de la población ha utilizado el agua subterránea con fines agrícolas y de abastecimiento. El INAMHI tiene registros de aproximadamente 5000 puntos de agua en todo el país, incluyendo pozos perforados, excavados, y vertientes. Además, el país dispone de casi de 430000 Hm³ de agua en invierno, que en verano se reduce a casi 150 Hm³. El consumo anual de agua del país es de 9700 Hm³; donde el 82% es para el riego agrícola, el 5.5% para el sector industrial y para el uso doméstico 12.5% (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2015).

Pese a tener una gran cantidad de recursos hídricos, existe una significativa cantidad de habitantes que tiene limitaciones en el abastecimiento de agua potable, no disponen de cobertura de servicios de agua y alcantarillado (Cabrera, Garcés, & Paredes, 2012). Existen sectores del Ecuador con déficit de recursos hídricos, casi permanentes, como el caso de la península de Santa Elena; por ese motivo, es común que ciertos habitantes de la península se abastecen de agua por medio de pozos (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2015).

La península de Santa Elena, es una de las provincias que pertenece a la costa ecuatoriana, ha sido afectada por la deforestación y explotación indiscriminada de sus bosques, perdiendo biodiversidad y parte de sus recursos hídricos. Actualmente, la península presenta erosión alta, bajas precipitaciones y valores elevados de evapotranspiración (Ministerio del Ambiente, 2001). Políticamente la provincia consta de tres cantones: Santa Elena, La Libertad y Salinas. El cantón Santa Elena integra 60 comunas y una de ellas es la comuna “La Aguadita”, afectada por la tala indiscriminada de árboles y sus respectivas implicaciones en el ciclo hidrológico (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Colonche, 2019).

“La Aguadita” es una de las 18 comunas de la parroquia Colonche. Sus habitantes se dedicaban a la agricultura y ganadería, pero actualmente solo se dedican a la ganadería, debido a la escasez de agua. Por otro lado, la comuna cuenta con un potencial atractivo turístico de piscinas termales y lodo volcánico, pero no existen medidas para obtener beneficio de esto (El Telégrafo, 2015).

Debido a la actividad ganadera, la falta de un pozo subterráneo de agua dulce y la actual crisis global por el COVID-19, se resalta la importancia de encontrar fuentes de abastecimiento de agua en la comuna “La Aguadita” (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Colonche, 2019; Neira, 2021).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la hidrogeología de la comuna “La Aguadita” mediante reconocimiento litológico, campaña geofísica de geoeléctrica, inventario de pozos y medición de parámetros físicoquímicos para la determinación de posibles zonas de aprovechamiento de aguas subterráneas. Esta propuesta busca un acercamiento entre “La Aguadita” y la comunidad científica, para que los pobladores tengan una mejora en sus conocimientos sobre el uso y control del agua; además, asienta las bases para futuros proyectos en la comuna.

1.1 Descripción del problema

En los últimos 100 años, el uso del agua a nivel mundial ha aumentado seis veces y continúa aumentando a una tasa anual del 1%, donde factores como el cambio climático, desarrollo económico y crecimiento demográfico son las principales causas que generan este aumento constante. Un tercio de la población mundial no tiene acceso a servicios de agua potable (UNESCO, 2020).

Ecuador tiene una gran cantidad de recursos hídricos, se dispone de una tasa anual de 43500 m³ de agua por persona, lo que equivale a 2.5 veces mayor al promedio global. Sin embargo, el 39% de la población ecuatoriana no tiene acceso a servicios de agua potable, es decir, que tres de cada diez ecuatorianos no tienen acceso a agua potable, esto se debe a la falta de cobertura de agua y alcantarillado, como también a la mala distribución del servicio (García, 2008; Cabrera, Garcés, & Paredes, 2012).

La costa del Ecuador es caracterizada por tener una zona cálida – húmeda, con ríos de flujo continuo y estacionales, pero hay excepciones como la provincia de Santa Elena, que se vio afectada por la tala indiscriminada de bosques.

Santa Elena presenta una precipitación anual menor a 350 mm, valores anuales de evapotranspiración potencial que van entre 1000 – 1200 mm/año, por lo que la provincia enfrenta una escasez neta de agua para la obtención y distribución del servicio (Ministerio del Ambiente, 2001; INOCAR, 2020).

La comuna “La Aguadita” no tiene cobertura de agua potable ni alcantarillado, presenta baja humedad y ríos intermitentes que solo tienen agua durante la época de lluvia (enero-abril). En la comuna viven alrededor de 205 personas que se abastecen de agua mediante tanques cisterna para consumo humano y pozos artesanales de agua subterránea para la ganadería. Sin embargo, en la temporada de lluvia el acceso de los tanques cisterna a la comuna no es viable por el mal estado de la carretera, además el agua de los pozos contiene alta salinidad, sumado a la falta de educación de la población, se descuida el control y limpieza de los pozos (El Telégrafo, 2015; Neira Neira, 2021).

El 90% de la población de la comuna se dedicaba a la agricultura y ganadería, pero ante el desabastecimiento de agua, la agricultura ya no es una actividad factible, por lo que su principal sustento en la actualidad es la ganadería. Ante estas dificultades, una porción significativa de habitantes de la comuna, han optado por mudarse a lugares cercanos para criar a su ganado, mantener cultivos y no pasar angustia por la falta de agua (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Colonche, 2019; El Telégrafo, 2015).

1.2 Justificación del problema

En el Ecuador hay zonas donde el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer pueblos o para el desarrollo de la agricultura, ganadería e industria. El sector ganadero y agrícola en el país se abastece de aguas subterráneas para suplir la mitad de sus actividades, mientras que el sector industrial hace uso de un tercio de las aguas subterráneas para sus requerimientos. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2018).

El aumento de la migración de los habitantes de la comuna “La Aguadita” en los últimos 15 años por la escasez de agua superficial, obliga a los comuneros a buscar nuevas fuentes de abastecimiento. Considerando la problemática planteada, el presente proyecto tiene un enfoque en los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): El ODS 4 (Garantizar una educación inclusiva, equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todo) se propone educar a los comuneros en base a la hidrogeología y como llevar un adecuado registro de los pozos. El ODS 6 (Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos) se centra en el proyecto, en la búsqueda de agua subterránea y que esté disponible para la comuna, así mismo tenga una gestión responsable de este recurso indispensable para desarrollo sostenible. El ODS 8 (crecimiento económico inclusivo y sostenido para impulsar la economía y tener mejor calidad de vida) se relaciona con el proyecto porque con el recurso del agua subterránea los comuneros pueden impulsar la ganadería y retomar la agricultura, así mejorarían sus ingresos y, por lo tanto, su calidad de vida.

El agua es el recurso vital de todo el planeta, y es un derecho en todos los países democráticos del mundo. La Constitución de la República del Ecuador de 2008 en su artículo 318 menciona que el agua es de uso público, dominio inalienable e imprescriptible para todos los ciudadanos ecuatorianos. Partiendo de esto se busca crear en la comunidad estrategias de manejo del agua en sus actividades económicas y domésticas, sin dejar atrás el conocimiento ancestral de este valioso recurso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la hidrogeología de la comuna “La Aguadita” mediante reconocimiento litológico, campaña geofísica de geoelectrónica, inventario de pozos y medición de los parámetros fisicoquímicos para la determinación de posibles zonas de aprovechamiento de aguas subterráneas.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un levantamiento litológico mediante uso de la información topográfica y el reconocimiento de campo para la identificación de las formaciones geológicas del área de estudio.
2. Efectuar un mapeo geoelectrico mediante sondeos eléctricos verticales para la obtención de la distribución de las resistividades del terreno y la identificación de la capa saturada de agua.
3. Establecer un acercamiento de la comuna “La Aguadita” con la comunidad científica-académica mediante talleres participativos en la medición de parámetros fisicoquímicos del agua para que los comuneros lleven un control de los pozos de agua.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Precipitación

Se la define como el agua que llega a la superficie, ya sea de forma líquida o sólida, además es la fuente principal del ciclo hidrológico. La precipitación se presenta en lluvia, nieve, granizo, etc., estas formas de manifestarse dependen de la temperatura, viento y presión atmosférica (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2015) .

Mediante pluviómetros o fluviógrafos se puede medir la precipitación de un sector. El principio de estos instrumentos es indicar la altura que alcanza una columna de agua dentro de un área de 1 x 1 m² en un intervalo de tiempo, dicha altura se la mide en milímetros (Aguiló et al, 2014).

La comuna “La Aguadita” no posee un pluviómetro o fluviógrafo por lo que no hay datos de precipitación en la zona. Sin embargo, se puede analizar la precipitación de la comuna por las estaciones que se encuentren dentro o aledañas a la subcuenca en la que se encuentra el área de estudio.

1.4.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración es un término que nace de la unión de las palabras evaporación y transpiración, donde las dos palabras indican la cantidad de

agua transferida a la atmósfera, pero la primera es el agua que se encuentra en la superficie de la tierra y la segunda es la contenida en los seres orgánicos. Por lo tanto, la evapotranspiración es el vapor de agua transferida hacia la atmósfera contenido en la vegetación y las superficies cubiertas por la vegetación (OMM, 2012).

Para determinar la evapotranspiración de un sector se lo hace por medio de fórmulas semiempíricas, conocida como métodos directos, indirectos o modelos de simulación (Aguiló et al, 2014).

1.4.3 Red hidrográfica

Conocida también como red de drenaje o red de canales. La red hidrográfica es el conjunto de ríos u otros cursos de agua (lagos, embalses, etc.) dentro de una zona determinada. Estos conjuntos de río pueden ser temporales o permanentes (OMM, 2012).

La forma y textura de la red de drenaje permite conocer la forma de una cuenca, el cual es un dato importante, puesto que se puede definir la existencia de caudales, procesos de transporte de sedimentos y fenómenos de erosión (Aguiló et al., 2014).

1.4.4 Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es un terreno que contiene una red o canal hidrográfico en la que el agua, sedimentos y materiales disueltos drenan a través del canal hacia un punto en común. La cuenca puede ser de diferentes tamaños, por ejemplo, la cuenca del Amazonas es una de las cuencas hidrográficas más grandes del mundo, como también puede ser una cuenca de un pequeño arroyo (Aguiló et al., 2014).

1.4.5 Microcuenca

Es una zona de aguas superficiales, que vierten a una red de drenaje natural con uno o varios cauces naturales. Su red de drenaje puede tener un caudal continuo como intermitente y puede desembocar en un río o directamente el mar. Los límites de la microcuenca las define las líneas divisorias de las

aguas y su red de drenaje debe tener un área menor a 500 km² (OMM, 2012).

1.4.6 Hidrometeorología

Es la ciencia que se encuentra ligada a la hidrología, meteorología y climatología; se encarga de estudiar y relacionar las fases atmosférica y terrestre dentro del ciclo hidrológico (OMM, 2012). En la fase atmosférica abarca la evaporación, precipitación y condensación, y la terrestre abarca la infiltración, intercepción de la lluvia y derramamiento superficial. Mediante los fenómenos hidrometeorológicos se puede realizar predicciones o modelos de alerta temprana como lo es un control de inundaciones en una zona o también para realizar un control y gestión de embalses (Allende & Mendoza, 2007).

1.4.7 Hidrogeología

Conocida también como hidrología subterránea y considerada una rama de la hidrología. La hidrogeología estudia el agua subterránea (su origen, movimiento y características fisicoquímicas) y las propiedades de las rocas que almacenan y controlan el movimiento del flujo subterráneo, como también la interacción con los suelos y las condiciones en la que se encuentra el acuífero para su aprovechamiento (Custodio & Llamas, 1983).

La hidrogeología es considerada como una ciencia interdisciplinaria puesto que, para tener un buen entendimiento de los yacimientos de aguas subterráneas, aplica conceptos, leyes y principios de otras disciplinas como lo son la geología (estratigrafía, estructural y tectónica), hidroquímica, mecánica de fluidos y climatología (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2015).

1.4.8 Acuíferos

Es una formación geológica que se encuentra en el subsuelo y tiene la capacidad de contener y transmitir agua en grandes cantidades. Esta formación puede estar formada por una o más estratos o capas de roca, que permiten que el agua se almacene y tenga un flujo significativo (Aguiló et al., 2014).

1.4.9 Tipos de acuíferos

Los acuíferos se pueden clasificar por diferentes criterios, los más usados son de dos tipos: en función a su comportamiento litológico y por su presión hidrostática. Según Vélez (1999), los acuíferos que se clasifican en función a su comportamiento litológico son:

1.4.9.1 Acuífero

Caracterizado por su gran contenido de agua y circula con mucha facilidad. El material litológico que forma este tipo de acuífero son las arenas, gravas y rocas con alta fracturación.

1.4.9.2 Acuitardo

Caracterizado por tener una cantidad apreciable de agua y circula con dificultad. El material litológico que forma este tipo de acuífero son las areniscas, arenas arcillosas y rocas pocos fracturadas.

1.4.9.3 Acuícludo

Caracterizado por tener una cantidad apreciable de agua, pero esta no circula. El material litológico que forma este tipo de acuífero son los limos y arcillas.

1.4.9.4 Acuífugo

Caracterizado por no contener agua ni circulación. El material litológico que forma este acuífero este tipo de acuífero son los granitos, esquistos y rocas no fracturadas.

Según Aguiló et al. (2014) los acuíferos que se clasifican en función de su presión hidrostática son:

1.4.9.5 Acuífero libre

Se caracteriza porque la presión del nivel del agua es igual a la presión atmosférica.

1.4.9.6 Acuífero confinado

Se caracteriza por la presión del nivel de agua es superior a la presión atmosférica.

1.4.9.7 Acuífero semiconfinado

Se caracteriza por estar delimitado por capas, una semipermeable en la parte superior y otra impermeable o semipermeable en la capa inferior.

1.4.10 Relación entre el tipo de roca y la formación de acuífero

Para un adecuado estudio hidrogeológico, es de suma importancia identificar el ambiente geológico (litología y comportamiento tectónico), para así obtener las características de la roca, conocer su capacidad de almacenamiento y circulación (Vélez, 1999). Burbano, Becerra & Pasquel (2015), describen la calidad del acuífero según el tipo de roca, presentadas a continuación.

1.4.10.1 Roca ígnea

Las rocas ígneas son rocas no porosas e impermeables como lo es el granito, el cual es malo para almacenar agua subterránea, no obstante, si la roca ha sufrido un tipo de fractura, este puede adquirir una porosidad secundaria en la que permite que el agua circule. Por lo tanto, dentro de un ambiente ígneo es importante conocer los efectos tectónicos de la zona para indicar la posible exploración del recurso. Por otro lado, los materiales volcánicos como ceniza, escoria y piroclastos se las considera como acuíferos de importancia relativa.

1.4.10.2 Roca metamórfica

Pueden formar acuíferos pobres y buenos, depende del tipo de roca metamórfica y el ambiente tectónico. Por ejemplo, el mármol genera un acuífero pobre, pero si este se encuentra fracturado o en proceso de disolución, puede generar un buen acuífero.

1.4.10.3 Roca sedimentaria

La calidad del acuífero va a depender del tamaño de grano que presenta la roca sedimentaria; si los sedimentos son de grano fino se va a formar un acuífero pobre, pero si los sedimentos derivan de rocas cristalinas, como lo son el granito o piroclastos, forman buenos acuíferos.

Por lo tanto, si se desea conocer si la roca puede generar un buen acuífero, se debe tener en cuenta el origen de la roca y el comportamiento tectónico de la zona.

1.4.11 Métodos geofísicos

Los métodos geofísicos permiten conocer las características físicas del subsuelo, los cuales son: método eléctrico, gravimétrico, magnético y sísmico. Para la búsqueda de agua subterránea el más usado es el método eléctrico resistivo, el cual consiste en medir la variación de la resistividad de las rocas que se encuentran en el subsuelo. Existen dos técnicas dentro del método eléctrico resistivo y el más común es el Sondeo Eléctrico Vertical (SEVs) (Auge, 2008). Una forma de correlacionar la resistividad de la roca y sus características es la siguiente:

- Si la roca presenta una baja o nula porosidad se tendrá una elevada resistividad
- Si la roca se encuentra sobre el nivel freático su resistividad será elevada
- La resistividad será baja si la roca es arcillosa o impermeable, o también que presenta un contenido de agua alta en sal.

1.4.12 Acuíferos costeros

Relacionado a las aguas costeras (agua dulce), el cual depende de su ubicación con respecto a la línea de costa o salida al mar. Para que un acuífero sea considerado un acuífero costero, este se debe de encontrar en un rango de una milla náutica entre su punto hasta la línea base de costa. Generalmente, presenta una interfaz de agua del mar. (Aguiló et al., 2014,

OMM, 2012). Otra forma de definir un acuífero costero es como una formación geológica que tiene la capacidad de almacenar y transmitir agua, además, este acuífero se encuentra conectado con el mar de manera hidráulica (López & Gómez, 2007).

Según la naturaleza de los acuíferos costeros, se puede clasificar en acuíferos detríticos, carbonatados y volcánicos, pero este último es poco frecuente. El acuífero detrítico se puede identificar mediante su morfología, el cual puede ser: deltas, llanuras costeras, piedemontes costeros y aluviales costeros. Por otro lado, los acuíferos de carbonatos presentan una morfología con un relieve bastante abrupto y puede presentar un grado alto o bajo de karstificación. Finalmente, los acuíferos volcánicos se dan en rocas efusivas con porosidad y permeabilidad alta, con una morfología casi llana (López & Gómez, 2007).

1.4.13 Recarga artificial

Es la infiltración de agua de manera no natural o por medios artificiales, con el objetivo de aumentar el recurso y mejorar la calidad del acuífero. Las fuentes que se usa para realizar una recarga artificial son: escorrentía de tormentas, agua que proviene de cursos fluviales permanentes, agua residual doméstica tratada y aguas que provienen de acuíferos cercanos (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1995).

1.5 Marco geográfico y geomorfológico

La comuna “La Aguadita” geográficamente se ubica, según el sistema de coordenadas geográficas UTM, en la zona 17 S con coordenadas 543958.00 m. E. y 9764355.04 m. S. con una inclinación 46°. Pertenece a la provincia de Santa Elena, parroquia Colonche. Limita al norte con las poblaciones de San Marcos y Cerezal. Al este con Carrizal y al sur con Calicanto (Figura 1.1). El clima es caracterizado por ser tropical seco, los vientos provienen desde el suroeste hacia el noroeste con velocidades de 50.25 a 53.4 m/s. La temperatura promedio al año es de 24.5 °C. El pueblo tiene una elevación aproximada de 116 metros sobre el nivel del mar (GAD Parroquial Colonche, 2019).

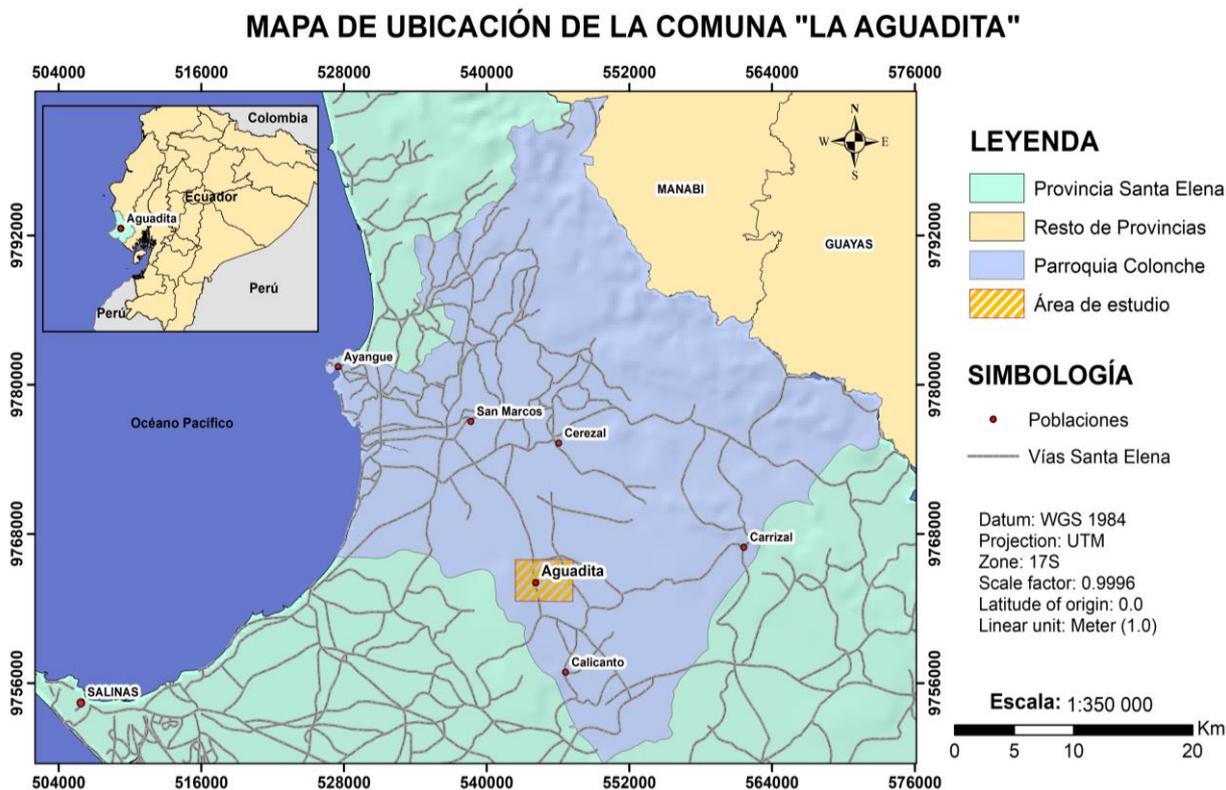


Figura 1.1 Mapa de ubicación de la comuna “La Aguadita”.

Elaborado con datos del SNI (2013)

La comuna “La Aguadita” se encuentra en la microcuenca del Río Hondo, que pertenece a la cuenca del Río Javita. La red hídrica de la comuna está compuesta principalmente del Río Hondo y Río Barbasco que son ríos que aparecen en invierno. La cuenca del Río Javita tiene un área aproximada de 801 km² que representa el 21.5% del total de la extensión de la provincia de Santa Elena. La cuenca del Río Javita limita al norte con la provincia de Manabí, al este con la Provincia del Guayas, al oeste con el océano Pacífico y al sur con la Cuenca Zapotal (Figura 1.2). La microcuenca Río Hondo tiene un área de 164.22 km² que representa el 34.67% del total de la Cuenca Río Javita y su longitud axial es de 21.59 km. La geomorfología de la zona está dominada por un relieve colinado medio, también se presentan zonas con coluvial aluvial antiguo y cerro testigo (Instituto Geográfico Militar, 2013).

MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA RÍO JAVITA Y MICROCUENCA RÍO HONDO

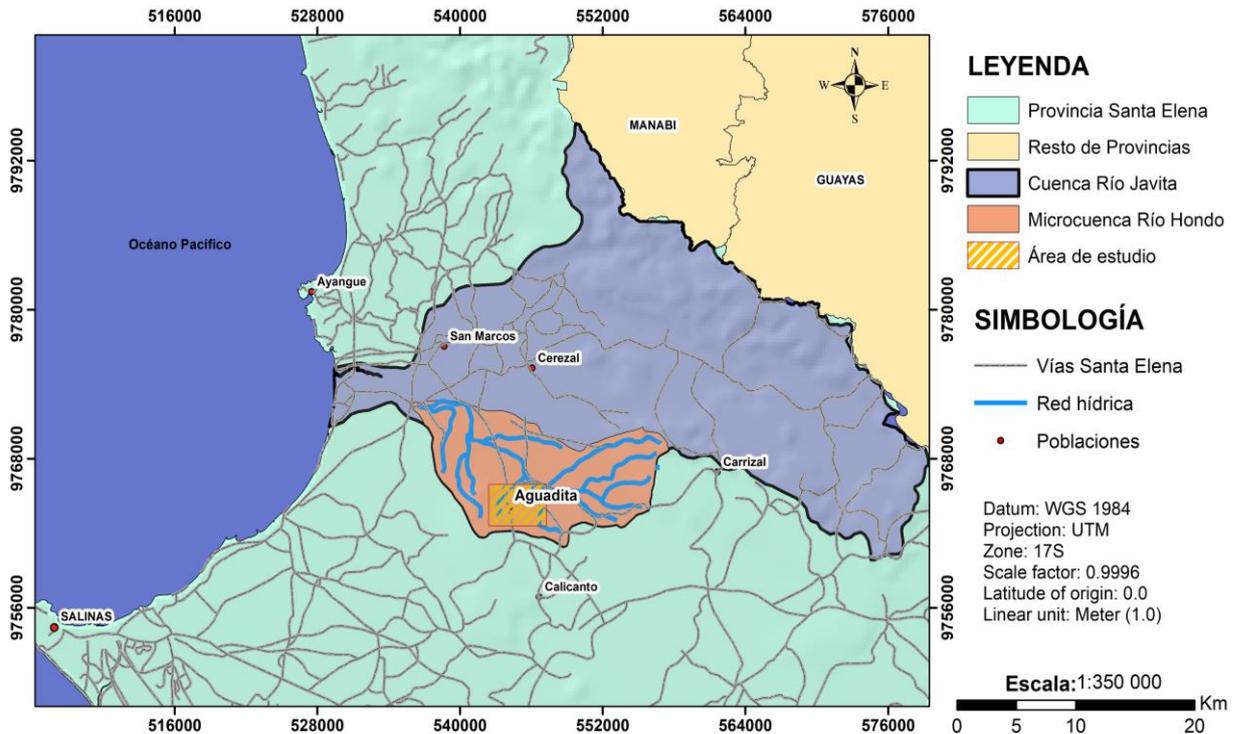


Figura 1.2 Mapa de ubicación de la cuenca Río Javita y microcuenca Río Hondo. Elaborado con datos del SNI (2013)

1.6 Marco geológico

El margen costero del Ecuador está constituido por un basamento ígneo de tipo máfico, el cual se ha cubierto por rocas sedimentarias de origen marino y continental. El basamento de la península de Santa Elena está compuesto por la formación de tipo oceánica Piñón, de edad Cretácica. Esta formación constituye un elemento autóctono de la región (Núñez del arco, 2003; Benítez, 1995). En la Figura 1.3 se observa la geología de la microcuenca del Río Hondo y después se describen las formaciones que se relacionan con esta microcuenca.

GEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA RÍO HONDO

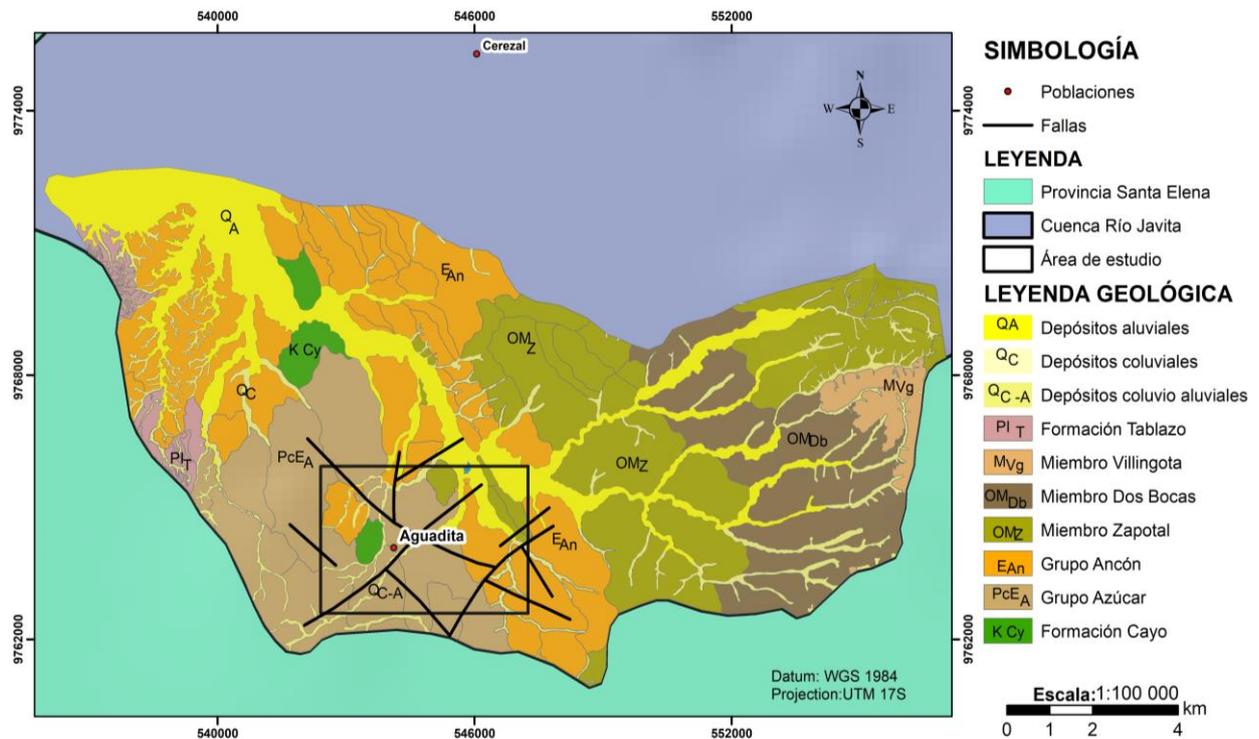


Figura 1.3 Geología de la microcuenca del Río Hondo.

Elaborado con datos del SNI (2013)

1.6.1 Formación Cayo (Cretácico Superior)

La formación Cayo es un grupo de rocas volcano-clásticas y sedimentarias depositadas en un ambiente marino con una potencia aproximada de 2000m, sobreyaciendo a la Fm. Piñón. La parte basal está constituida por brechas volcánicas de composición intermedia a básica. La zona inferior está dominada por areniscas y grauvacas. En la parte superior se encuentran rocas menos volcánicas como cherts o lutitas calcáreas, es decir es una sección granodecreciente (Feininger & Bristow, 1980). Los sedimentos de esta formación se depositaron en una cuenca oceánica, localizada en un arco de islas en proceso de erosión. Además, esta formación contiene turbiditas de alta y baja densidad (Jaillard et al., 1995).

La edad más aceptada para la Formación Cayo es Campaniense Superior y fue propuesta por Benítez (1995) en base a los radiolarios *Amphypindax*

pseudoconulus, A. Tylouts, entre otros. En las partes montañosas de la costa ecuatoriana aflora de manera esporádica en bloques (Ordoñez et al., 2006).

1.6.2 Formación Tablazo (Pleistoceno)

Es una formación que puede aparecer sobre cualquier otra formación anterior y ha sido afectada por fallas cuaternarias. Posee una sucesión de niveles duros y compactos, aparecen microconglomerados con cemento calcáreo, brechas y calizas conchíferas. Las mesetas formadas por esta formación se encuentran cubiertas por limos grisáceos. El espesor máximo observado es de 30 m. Esta formación se depositó en un ambiente marino somero (Ordoñez et al., 2006).

Por otra parte, Núñez del Arco (2003) divide a esta formación por facies. Una facie superior de ambiente marino profundo por la existencia de areniscas calcáreas, una segunda facie de ambiente marino somero por la presencia de nódulos calcáreos y conchas, la tercera facie corresponde a un ambiente marino litoral dado por fragmentos de conchas y areniscas de color marrón.

1.6.3 Grupo Ancón (Eoceno medio-superior)

Según Jaillard et al. (1995) este grupo se compone de tres formaciones con contactos transicionales: Formación Socorro, Formación Seca y Formación Punta Ancón. Mientras que la mencionada "Clay Pebble Beds" es una facie diacrónica de arcillas con perturbaciones, areniscas, cherts y calizas. Por otra parte, Ordoñez et al. (2006) afirma que son cuatro las formaciones que componen al Grupo Ancón: Formación Socorro, Seca, Punta Ancón y Clay Pebble Beds. En la cuenca del Río Javita aflora la Formación Socorro y Seca.

1.6.3.1 Formación Socorro

La litología está caracterizada por lutitas, limolitas y areniscas finas. En las areniscas se pueden presentar secuencias de Bouma, las lutitas presentan una bioturbación fuerte de manera horizontal (Jaillard et al. 1995). Según

Benítez (1995) en la base de la Formación Socorro se ha reconocido areniscas erosiónales y canalizadas. La edad de esta formación es Eoceno Medio temprano depositado en un ambiente marino profundo o turbidítico (Ordoñez, 2006; Valencipua, 2017).

1.6.3.2 Formación Seca

Se compone de lutitas color gris a verdoso, lutitas de color marrón intercaladas con limolitas y areniscas. Las lutitas pueden presentar nódulos de yeso y calcio. Esta formación tiene un espesor máximo de 1200 m (Mora et al., 2007). La edad asignada es Eoceno Superior de un ambiente de plataforma externa dado por foraminíferos como *Lepidocyclina*, *Operculinoides*, entre otros (Ordoñez et al., 2006).

1.6.4 Formación San Eduardo (Eoceno Medio)

La litología está caracterizada por un flysch calcáreo, calizas con alta presencia de foraminíferos y radiolarios (Núñez del Arco, 2003). En esta formación se puede encontrar turbiditas granodecrecientes en su base, hacia el tope un aumento de lutitas silíceas y turbiditas calcáreas (Ordoñez et al., 2006).

Según Núñez del Arco (2003) la Formación San Eduardo se divide en dos miembros, el Miembro San Eduardo que es el más antiguo, y el Miembro Javita que aflora en las cuencas de Manglaralto y Javita, de allí la procedencia de su nombre.

1.6.4.1 Miembro Javita

Posee calcarenitas color gris de grano medio a grueso con clastos angulosos a redondeados, brechas y conglomerados en el tope. La parte basal se caracteriza por la presencia de nódulos de chert y lutitas calcáreas. La edad de esta formación es Eoceno Medio (Benítez, 1995; Núñez del Arco, 2003).

1.6.5 Formación Tosagua (Mioceno Inferior-Mioceno Medio)

Está compuesta por tres miembros: Zapotal, Dos Bocas y Villingota. En la Cuenca del Río Javita solo afloran los miembros Zapotal y Dos Bocas. La potencia es de aproximadamente 1000 m con una edad de Mioceno Inferior a Mioceno Medio (Núñez del Arco, 2003; Ordoñez et al., 2006).

1.6.5.1 Miembro Dos Bocas

Este miembro está formado por lutitas grises, que por procesos de meteorización toman un color chocolate, alterna con areniscas de grano fino y limolitas. Es común la presencia de vetillas de yeso. Los horizontes de lignito en las lutitas indican un ambiente de depósito marino somero. (Campoverde & Fajardo, 2018; Núñez del Arco, 2003).

1.6.5.2 Miembro Zapotal

Se encuentra de manera discordante y encima del Grupo Ancón, es la parte inferior de la Formación Tosagua. Está formado por intercalaciones de areniscas de grano medio con limolitas. La parte basal presenta conglomerados con clastos líticos subangulares, calizas y cherts (Campoverde & Fajardo, 2018; Núñez del Arco, 2003).

1.6.6 Formación Progreso (Mioceno Superior)

Cubre toda la parte central de la Cuenca Progreso con una potencia aproximada de 2000 m, descansa de manera concordante sobre la Formación Subibaja. Su litología comprende areniscas con tonalidades verdes, lutitas, areniscas calcáreas, arcillas bentónicas y conglomerados (Benítez, 1995; Campoverde & Fajardo, 2018; Núñez del Arco, 2003).

1.6.7 Grupo Azúcar

Este grupo se encuentra estratigráficamente debajo del Grupo Ancón y encima de la Formación Santa Elena, consiste en una secuencia de conglomerados, areniscas y lutitas con un espesor máximo de 2750 m con una edad de Paleoceno Tardío (Ordoñez et al., 2006). Benítez (1991) considera que dividir al grupo Azúcar en formaciones es insignificante por

sus diferencias litológicas. Marksteiner & Alemán (1991) afirman que el grupo Azúcar es una serie de secuencias de progradaciones repetitivas de turbiditas submarinas de un ambiente marino profundo.

1.6.8 Depósitos aluviales (Holoceno)

En varias Cuencas de Santa Elena como la de Manglaralto, Javita y Zapotal el aluvial está constituido por arenas, limos, gravas, y arcillas poco compactadas las cuales se encuentran en las terrazas de la cuenca depositadas por acción de los ríos y quebradas. (Núñez del Arco, 2003).

1.7 Marco tecto-estructural

La costa de América del sur es considerada como un margen activo (Figura 1.4), debido a la subducción entre las placas Nazca y Sudamericana, lo cual tuvo como resultado la cadena montañosa conocida como la cordillera de los Andes. El perfil costero de Sudamérica es uno de los perfiles más lineales que hay en el mundo, ya que es casi paralela a los Andes. La subducción entre las placas se dio con un ángulo bajo y presenta una gran continuidad, pero a lo largo de la línea de subducción se presenta segmentos lineales y curvos; los segmentos curvos se los compara en dirección hacia al mar y empieza desde el Arco de Talara (convexo) de 1°N a 6°S, el ángulo de Arica (cóncavo) de 17°S a 21°S y el Arco Patagónico (convexo) de 45°S a 55°S. Frente a la costa de Ecuador se encuentra la cordillera Carnegie, ubicada sobre la placa Nazca. También, existen estructuras como la fractura de Grijalva que se encuentra frente al Golfo de Guayaquil y de Juan Fernández al sur de Chile (Lallemand, 1999; Gutscher, Malavieille, & Collot, 1999).

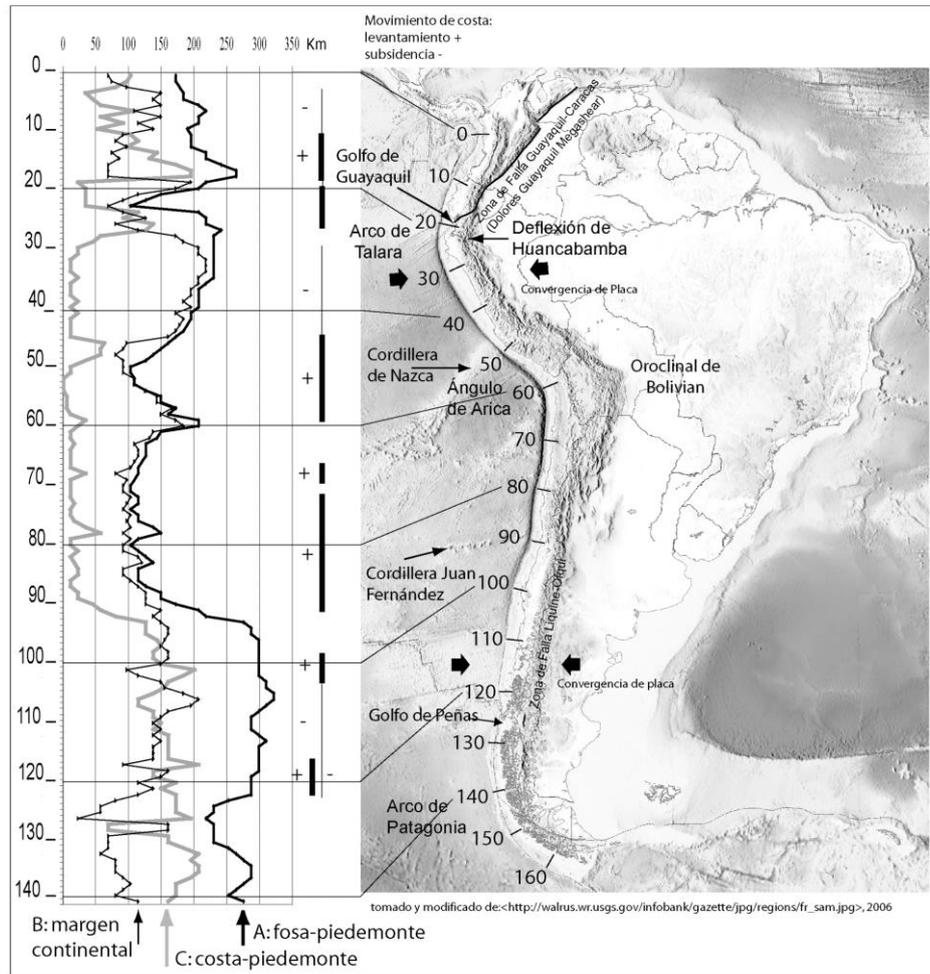


Figura 1.4 Margen costero de América del Sur (Francois, Navarrete, & Martillo, 2010)

La costa ecuatoriana presenta una gran parte del Arco de Talara (Figura 1.5), que va de norte a sur, desde la Bahía de Ancón hasta el Golfo de Guayaquil. Frente al Golfo de Guayaquil se encuentra la cordillera de Carnegie, el cual también entra en la subducción entre las placas Nazca y Sudamérica. Además, desde el Golfo de Guayaquil hacia el norte de la costa ecuatoriana, forman parte del Bloque Nor-Andino, el cual se desplaza hacia al norte a lo largo de la falla Dolores-Guayaquil. Al sur de Ecuador, en la falla Dolores-Guayaquil se puede encontrar material acrecionado del basamento oceánico (Ego et al, 1996).

Las estructuras que se encuentran a lo largo de la costa ecuatoriana se las puede agrupar en tres segmentos según su dirección: La sección norte que va desde el noroeste del estuario del río Mataje hasta el suroeste de Punta

Galera, la sección central que va desde el norte Punta Galera y al sur la Puntilla de Santa Elena y la sección sur que se encuentra el Golfo de Guayaquil (Francois, Navarrete, & Martillo, 2010).

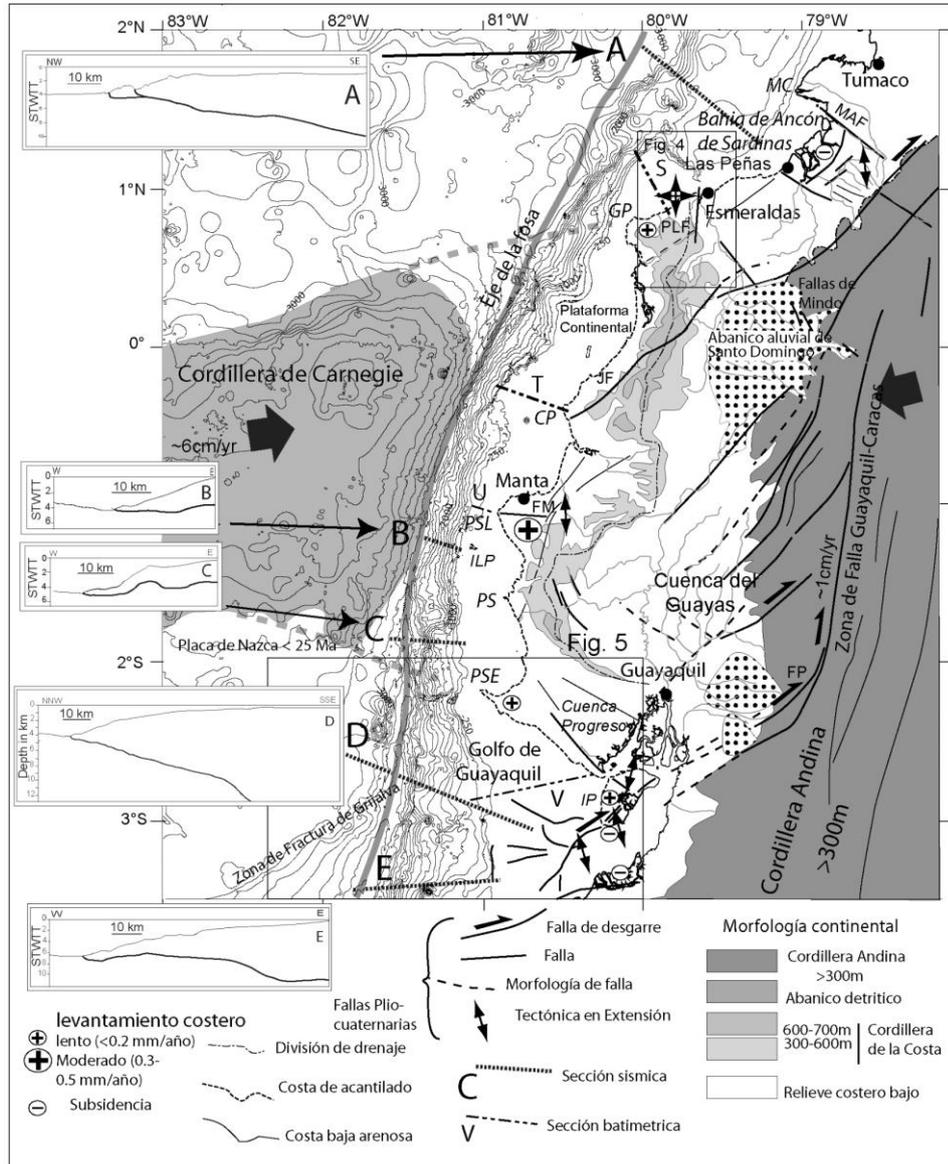


Figura 1.5 Mapa estructural del margen ecuatorial (Francois, Navarrete, & Martillo, 2010)

En la sección central se encuentra la provincia de Santa Elena, el cual presenta un comportamiento tectónico complejo, puesto que contiene una gran cantidad de fallas, donde se puede agrupar según su dirección: De noroeste al sureste (NW-SE) y de noreste al suroeste (NE-SW). Las fallas con dirección NW-SE son más recientes que las otras, al oeste de este

conjunto de fallas se presenta un subconjunto de fallas que son casi paralelas entre sí que van desde Ballenita hasta Chanduy. Las fallas con dirección NE-SW se las conoce como Falla de la Cruz y se encuentran en las zonas más altas como: Cerros Usa, Aguadita, De Saya y Azúcar (Colman, 1970).

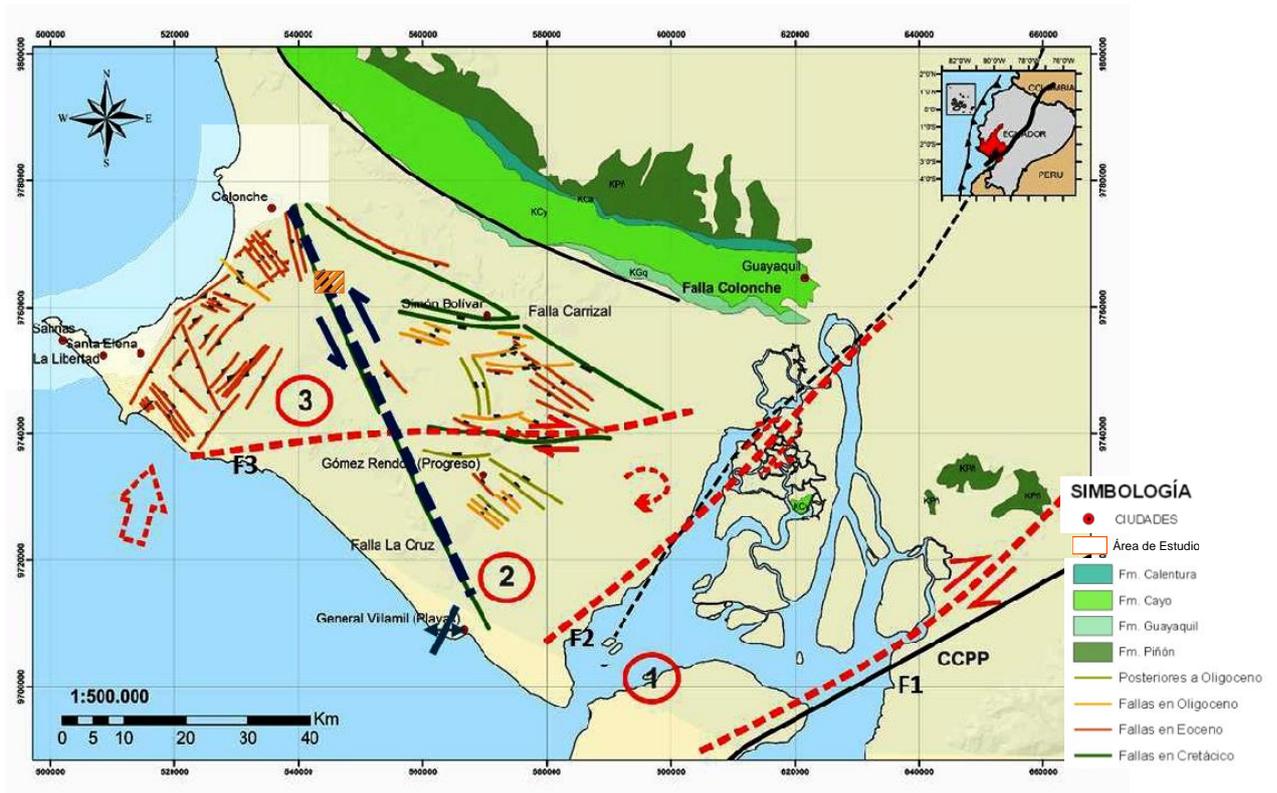


Figura 1.6 Mapa estructural de Santa Elena (López M., 2016).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Equipos y softwares

2.1.1 Equipos

Para la aplicación de la metodología que se llevó a cabo en el presente proyecto, se usó los equipos e instrumentos descritos en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Equipos usados para la toma de datos en campo

Equipo	Especificaciones	Fotografía
Brújula geológica	Marca: Brunton GEO 5010 Precisión del acimut: $\pm 1/2^\circ$ con graduaciones de 1° Peso: 12.8 oz.	
Navegador	GPS de Mano Garmin GPSMAP Serie 64x Peso: 124g	
Martillo geológico	E3-22P Peso: 680g Largo: 13 pulg.	
Fundas para muestras	Tipo: ziploc Tamaño: 19.5 x 17.7 cm	

Equipo	Especificaciones	Fotografía
Flexómetro	<p>Peso: 186 g Tamaño: 74 x 71 x 40 mm</p>	
Cinta métrica	<p>Longitud: 50 m Ancho 13 mm</p>	
Dron Phantom 4 Pro	<p>Tiempo de vuelo: 30 min. Aprox. Peso total: 1388 g Cámara de 20 megapíxeles Resolución de imagen: 3:2: 5472 x 3648, 4:3: 4864 x 3648, 16:9: 5472 x 3078.</p>	
Equipo Multiparamétrico	<p>Material del equipo: plástico Tamaño: 12 x 1.2 cm Longitud de cable: 1.5 m</p>	
Sonda	<p>Material del equipo: acero inoxidable Peso: 420 gr Profundidad máxima de medición: 10 m</p>	
Equipo de Sondeo Eléctricos Verticales	<p>Terrameter SAS 1000, Batería de 24 V, Cables de imágenes para corriente y voltaje, cables de interconexión y electrodos.</p>	

Equipo	Especificaciones	Fotografía
Medidor de pH	Indicador de pH, resolución 0.01 pH y 0.1 °C, tamaño 186x40 mm y peso de 130 g	

2.1.2 Softwares

En la Tabla 2.2, se encuentra la descripción de los softwares de apoyo para las salidas de campo y el procesamiento de los datos.

Tabla 2.2 Softwares utilizados en el proyecto

Software	Descripción
Avenza Maps	Es una aplicación móvil para cargar mapas ya georreferenciados y navegar sin conexión. Utilizada en el levantamiento geológico para guía y guardar datos de estaciones
ArcMap	Es un software que representa la información geográfica y permite visualizar, explorar, crear y editar datasets. Utilizado para realizar el mapa geológico del área de estudio
Ipi2Win	Diseñado para la interpretación de datos de SEVs mediante una curva de resistividad. Utilizado para el procesamiento de los datos de los SEVs
Surfer	Software especializado en la creación de modelos 2D-3D, isolíneas y análisis de datos espaciales.
GEO 5 – Estratigrafía	Versión demo diseñada para realizar secciones transversales del terreno, modelos 2D-3D, perfiles geológicos y entre otras funciones

2.2 Metodología general

La metodología del presente proyecto se dividió en cinco fases: revisión de la información base, análisis de parámetros hidrogeológicos, levantamiento litológico y Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), interpretación y correlación de resultados litológicos y geofísicos, por último la determinación de las posibles zonas de explotación. En la Figura 2.1 se presenta el flujograma de la metodología con el detalle de cada fase.

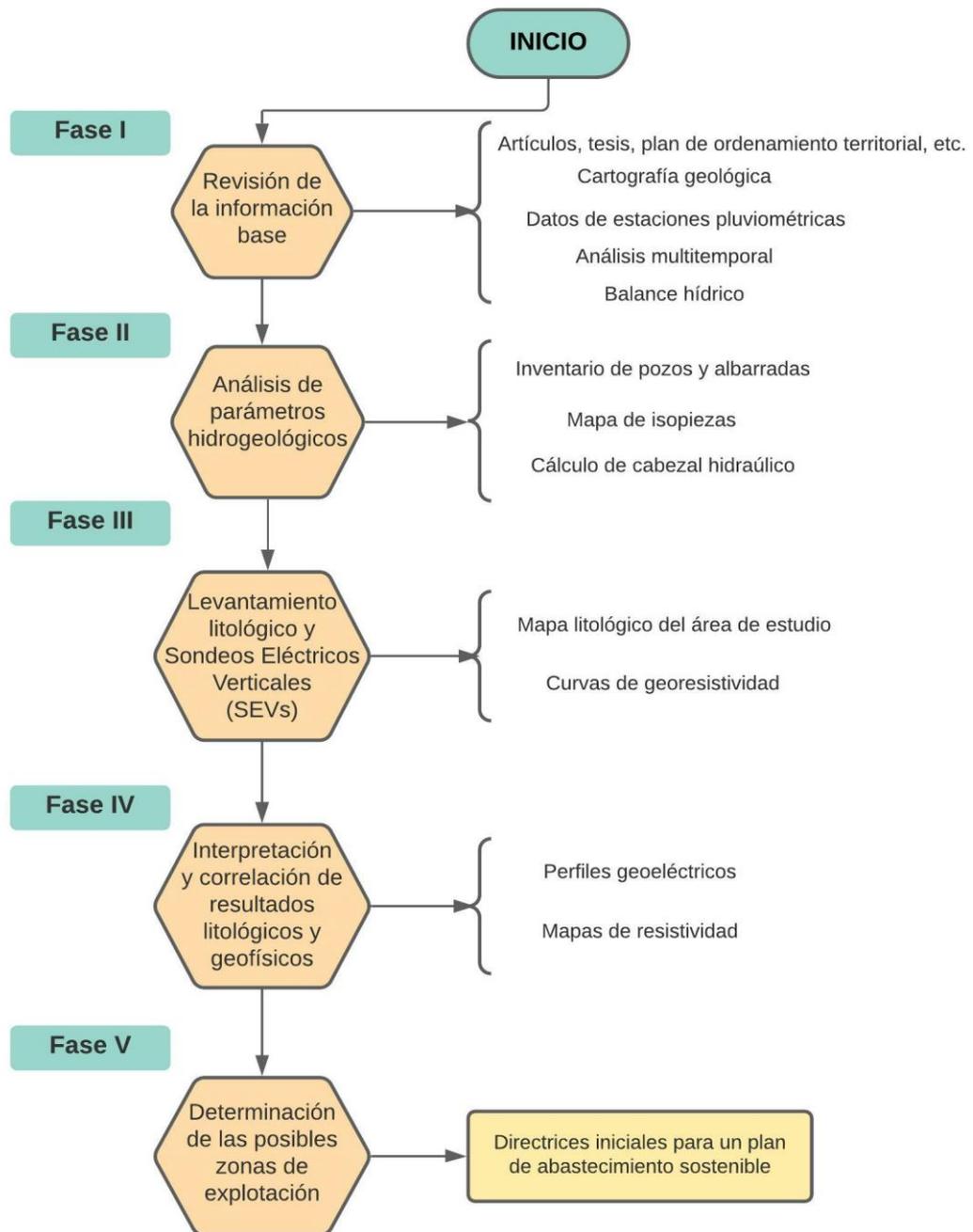


Figura 2.1 Esquema metodológico

2.2.1 Fase I: Revisión de la información base

En esta fase se recopiló información a través de libros, artículos científicos, proyectos de grado y anuarios meteorológicos; acerca de la geología, geomorfología, datos de temperatura y precipitación de la zona. En la Tabla 2.3 se observa un resumen del material más relevante que se ha recopilado.

Tabla 2.3 Resumen de la información recopilada.

Información	Descripción	Fuente	Año
Hoja Geológica de Santa Elena	Litología del sector	Instituto Geográfico Militar	1974
Información geográfica en formato shapefile de Santa Elena	Hidrogeología del sector	Instituto Nacional de Información	2013
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Colonche	Registro y ubicación de pozos	Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Colonche	2015
Anuarios Meteorológico	Datos de temperatura y precipitación	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología	1960-2014
Análisis Estructural de la Cuenca Progreso-Secuencias Paleógenas	Mapa Estructural de la Zona	Dspace ESPO	2016

La información geográfica de Santa Elena en tipo shapefile y el mapa estructural de Santa Elena, realizado en el proyecto de Análisis Estructural de la Cuenca Progreso-Secuencias Paleógenas, facilitó la ubicación espacial de ríos, contactos geológicos, fallas y tipos de rocas de la zona durante el trabajo de campo.

De los anuarios meteorológicos se obtuvo los datos de temperatura, precipitación mensual y anual, para realizar un análisis multitemporal, calcular la evapotranspiración y obtener el balance hídrico del suelo.

Finalmente, del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Colonche se obtuvo información general sobre la economía, ubicación y características de la cuenca hidrográfica.

2.2.1.1 Análisis multitemporal

En esta sección se realizó un análisis multitemporal de la precipitación y evapotranspiración real anual del periodo 1961 – 2013.

Los datos que se recopilaron para el análisis son la temperatura media y precipitación total anual, obtenidos de la estación meteorológica de Manglaralto (M0619), debido a la cercanía y calidad de los datos, además de presentar una de las series más completa de la zona. Se calculó la evapotranspiración real, mediante la fórmula de Turc (Ramos, 2012):

$$Er = \frac{P}{\sqrt[2]{0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

Donde:

Er: evapotranspiración real en mm

P: precipitación en mm

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$

T: temperatura media anual en °C

2.2.1.2 Balance hídrico

Se cálculo el balance hídrico del área en el periodo 1990 – 2014, se usaron los datos de precipitaciones mensuales de la estación de Chongón (M0780) y los datos de temperatura media mensual del conjunto de datos derivados otorgados por Climatic Research Unit (University of East Anglia, 2021), información proporcionada a través de una capa de isoterma del Google Earth. A continuación, se presenta la ficha de balance hídrico (Tabla 2.4) donde se muestra la precipitación (P), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración real (ETR), déficit (DÉF), reserva (RES), excedentes (EXC) y la capacidad de campo en milímetros.

Tabla 2.4 Ficha del balance hídrico del suelo

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Capacidad de campo		Total
P													
ETP													
ETR													
DÉF.													
RES.													
EXC.													

Para determinar la capacidad de campo, se usó la densidad aparente del suelo predominante en el área de estudio y el volumen de la microcuenca. El valor de densidad aparente que se usó es de 1.2 g/cm³, el cual corresponde a un suelo franco arcilloso arenoso (Ojeda et al., 2018). El volumen fue calculado con el área de la microcuenca y la profundidad promedio de los niveles estáticos de cada pozo, que fueron tomados en campo.

Se calculó la evapotranspiración potencial, mediante el método de Thornthwaite (Ramos, 2012). Su procedimiento se detalla a continuación:

- Primero se calculó el índice de calor mensual de cada mes (i), el cual se usó la temperatura media mensual (t)

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

- Se sumó el índice de calor de los 12 meses (I) y se usó este valor para hallar la evapotranspiración mensual “sin corregir” (ETP_{sin corr})

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

Donde

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$$

- Finalmente, se halló la evapotranspiración potencial corregida (ETP) con la siguiente expresión, donde se usó el número de días de cada mes (d) y el número máximo de horas de sol (N), que en Ecuador es 12.01

$$ETP = ETP_{sin\ corr.} \frac{N}{12} \frac{d}{30}$$

Posterior al cálculo de la evapotranspiración potencial, se comparó los valores de precipitación y evapotranspiración potencial de cada mes, para identificar el valor de la evapotranspiración real mensual y excedentes, así mismo, para hallar el valor de las reservas se debe tener en cuenta la capacidad máxima de absorción del suelo.

2.2.2 Fase II: Análisis de parámetros hidrogeológicos

Esta fase consistió en realizar un inventario de pozos mediante la medición de los parámetros fisicoquímicos del agua de cada pozo, cálculo del cabezal hidráulico y finalmente un mapa de isopiezas. A continuación, se describe las características de esta fase.

2.2.2.1 Medición de parámetros fisicoquímicos y nivel estático

En esta sección se realizó un censo de los pozos que existen en la comuna, donde se enumeró e identificó cada pozo mediante un nombre y ubicación geográfica, además se midió la plataforma del pozo (Figura 2.2), con un flexómetro. También se tomó el nivel estático de cada pozo con ayuda de una sonda (Figura 2.3 A) y se midió los parámetros fisicoquímicos del agua mediante el equipo multiparamétrico (Figura 2.3 B). Los parámetros medidos fueron: salinidad (S), pH, temperatura (T), total de sólidos disueltos (TDS), conductividad (C) y resistividad (R).

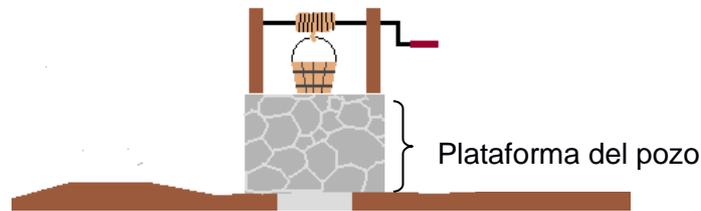


Figura 2.2 Esquema de pozo



Figura 2.3 A. Toma de nivel estático del pozo. B. Medición de parámetros físicos del agua de pozo

Se midió el nivel estático y los parámetros fisicoquímicos de cada pozo y albarrada de los tres últimos meses del año (septiembre, noviembre y diciembre), lo cual permitió analizar la variación del nivel y de los parámetros.

Se recalca, que el presente trabajo tiene como punto de partida el control de los pozos. Además, durante la toma de datos de los pozos se realizaron los talleres participativos, donde se explicó a los comuneros como realizar la correcta medición de los parámetros fisicoquímicos para armar la base de datos de los pozos. También, se indicó la calidad del agua de los pozos y su uso (Anexo 37 al 42).

2.2.2.2 Cálculo del cabezal hidráulico

Se calculó el cabezal hidráulico de cada pozo de los últimos tres meses del año con el objetivo de analizar la variación a lo largo de estos meses. Los valores obtenidos sirvieron para realizar la red de flujo y el mapa de isopiezas de la comuna. Los datos que se usaron para el cálculo del cabezal

hidráulico son la cota de los pozos y su nivel estático; la diferencia entre estas dos variables tiene como resultado el cabezal hidráulico.

Se realizó la red de flujo a través de un corte topográfico para identificar la dirección de flujo entre ellos, se comparó los valores de cabezal hidráulico de los pozos del mes de diciembre con el siguiente diagrama (Figura 2.4)

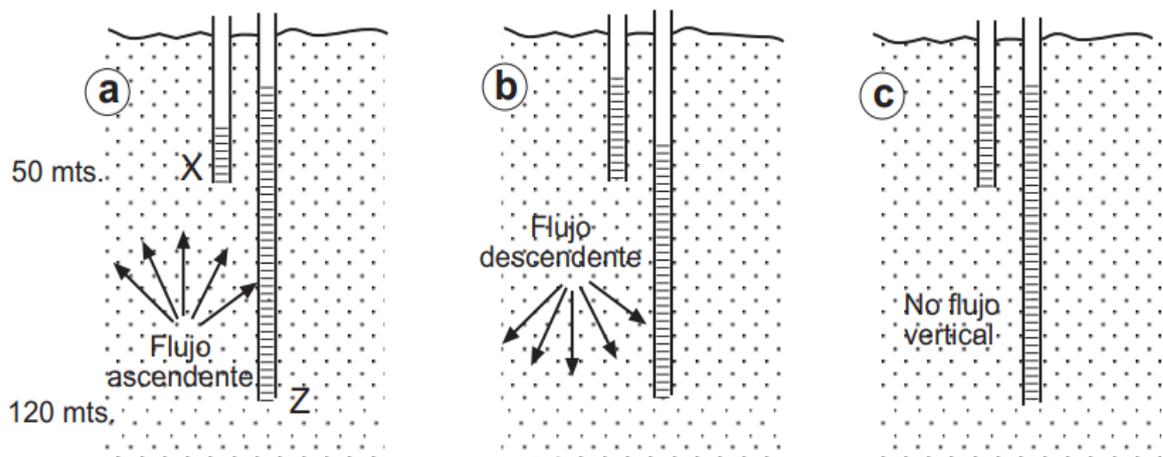


Figura 2.4 Esquema de componentes verticales de flujos (Sánchez, 2012)

2.2.2.3 Mapa de isopiezas

El mapa de isopiezas se realizó con el software ArcMap, en conjunto con el Surfer para identificar la dirección del flujo. Los datos que se usó para generar las isopiezas fueron los valores de los cabezales hidráulicos de los pozos del mes de diciembre. Los pozos que se consideraron para realizar el mapa fueron del 1 al 4 (Tabla 3.1), el 5 no fue considerado porque se encuentra muy alejado a los otros pozos y puede pertenecer a otro acuífero.

En el ArcMap se creó un shapefile de puntos con el cabezal hidráulico de los pozos y de las albardas, con la herramienta de interpolación Spline se generó un ráster para obtener las isolíneas (Figura 2.5 A). Finalmente, con el Surfer se colocó la grid de las isolíneas para obtener la primera derivada de las curvas e identificar el sentido de la red de flujo (Figura 2.5 B).

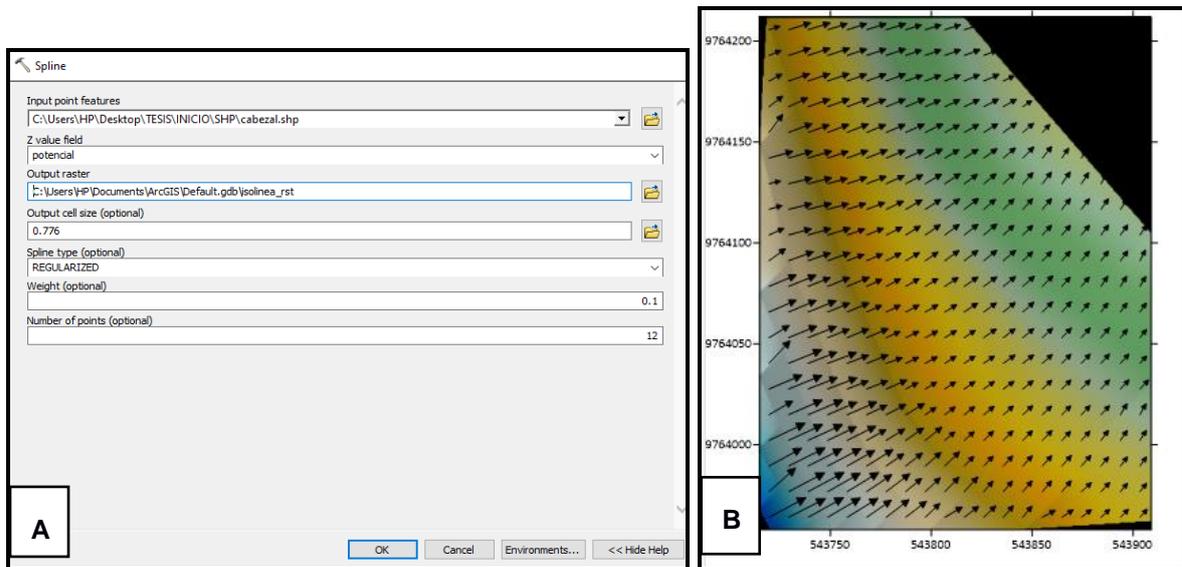


Figura 2.5 A. Aplicación de la herramienta spline en el ArcMap. B. Aplicación de la primera derivada sobre la grid de isopiezas en el Surfer

2.2.3 Fase III: Mapa litológico y sondeos eléctricos verticales

2.2.3.1 Levantamiento litológico

El levantamiento litológico se realizó mediante una exploración en campo, donde se identificó afloramientos de interés en la zona de estudio y con la ayuda de un dron se halló la topografía relativa del área de estudio. Se realizó la observación de los afloramientos y estructuras de interés (Figura 2.6 A y 2.7 B).

Existen zonas de difícil acceso, estas zonas fueron completadas mediante fotointerpretación, con imágenes obtenidas del satélite ALOS (GeoSpatial, 2021) y el modelo digital del terreno proporcionado por el dron. Los cambios de contraste y forma indican cambios en la geomorfología y por tanto un cambio litológico. Finalmente, con lo antes mencionado se procede a plasmar la litología con la ayuda de herramientas del ArcMap.

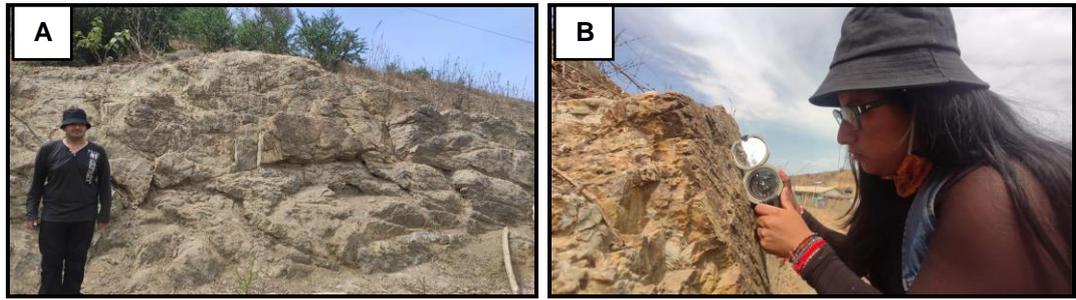


Figura 2.6 A. Reconocimiento de afloramientos y estructuras. B. Medición de rumbo y buzamiento de capas

Para la descripción de afloramientos se usó fichas de campo que se muestran en el Anexo 18 al 23, la cual consta de las características mas relevantes de cada punto de interés litológico.

2.2.3.2 Campaña de SEVs

En esta sección se realizó una campaña geofísica de sondeos eléctricos verticales (Figura 2.7 A y B), lo que permitió identificar el tipo de material, las condiciones de humedad del subsuelo y estimar los espesores de las capas litológicas.

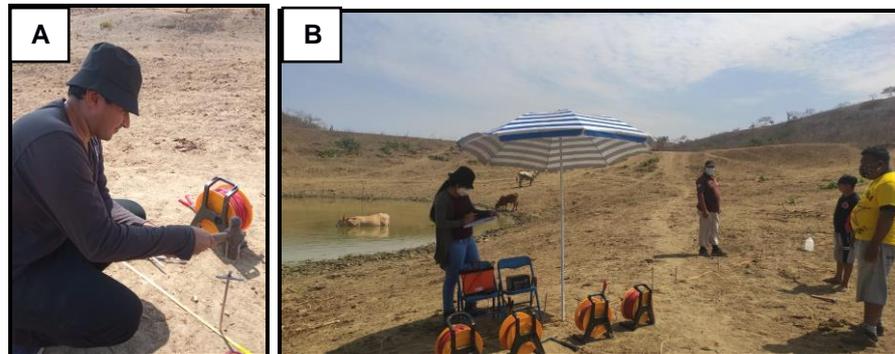


Figura 2.7 A. Colocación de electrodos. B. Toma de datos a través del SEVs

El método que se usó durante la campaña geofísica es de resistividad de corriente continua. Según el informe de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (2010), el método de resistividad mide las propiedades eléctricas de los materiales del subsuelo a través de la resistividad aparente; con la resistividad aparente se puede estimar la profundidad y el espesor de las capas del suelo. Además, dentro de un estudio hidrogeológico permite conocer la profundidad del nivel freático e intrusiones salinas en el subsuelo.

De manera general, el método requiere de cuatro electrodos que se encuentran en contacto con la superficie, donde el equipo pasa corriente a través de dos electrodos y los dos restantes miden la caída de potencial. En la Figura 2.8 se puede observar un diagrama básico del funcionamiento de medición de resistividad. La fuente de energía que se usó es una batería de 12 voltios.

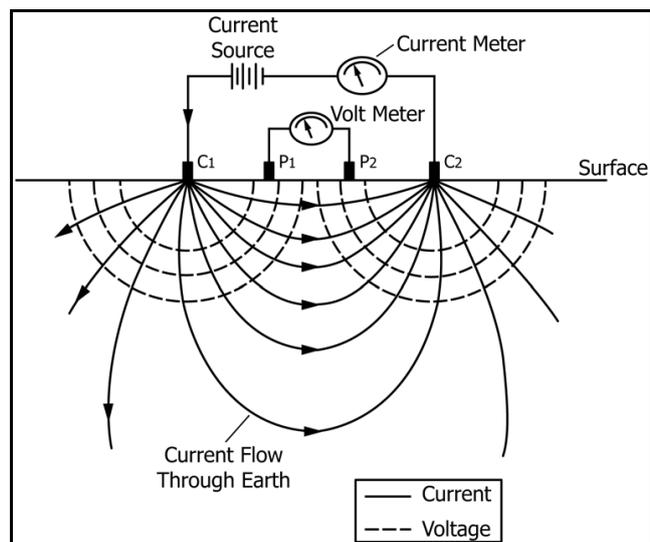


Figura 2.8 Diagrama básico de un sondeo eléctrico vertical por resistividad (Benson, Glaccum, & Noel, 1988).

Existen diferentes arreglos que se puede aplicar a este método de medición de resistividad, el cual varían por la ubicación de los electrodos de corriente y de caída de potencial. El arreglo que se usó en este proyecto es el de Schlumberger, el cual consiste en colocar los electrodos en línea separados a una cierta distancia, donde AB (distancia entre los electrodos de corriente) es mayor a cinco veces de MN (distancia entre los electrodos de caída de potencial) (Figura 2.9).

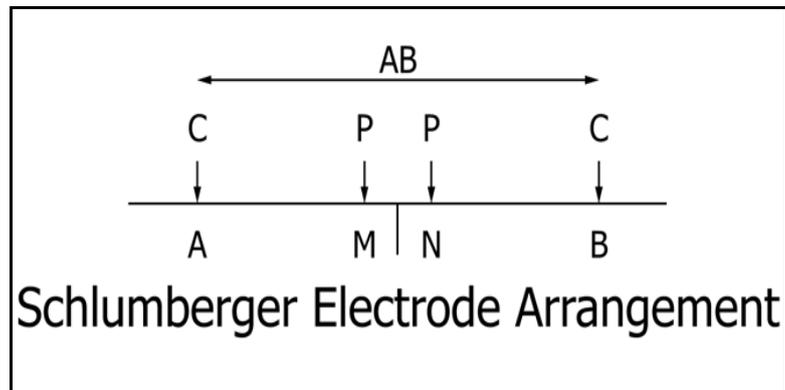


Figura 2.9 Arreglo electrodos de Schlumberger (Benson, Glaccum, & Noel, 1988).

Finalmente, para calcular la resistividad aparente se usa la siguiente expresión:

$$R = \pi \frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN} \times \frac{V}{I}$$

Donde:

AB: distancia entre los electrodos de corriente

MN: distancia entre los electrodos de caída de potencial

V: Caída de potencial

I: Corriente

Los datos obtenidos de los SEVs se procesaron en el programa IPI2win, el cual sirve para realizar las interpretaciones en una dimensión mediante el ajuste de una curva de resistividad. El error máximo admitido de la interpretación de las curvas de resistividad es de 5%, esto respalda la veracidad de los datos de campo. Con esta información se puede obtener la profundidad y espesor de cada capa litológica presente en la zona de estudio. También la resistividad puede variar principalmente por características o alteraciones que presentan las rocas como fracturas, saturación de agua salada o dulce (Loke, 2004). En la Figura 2.10 se observa el tipo de roca según su resistividad de manera general.

Material	Resistivity ($\Omega\cdot m$)	Conductivity (Siemen/m)
Toneous and Metamorphic Rocks		
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Slate	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Basalt	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Sedimentary Rocks		
Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Limestone	$50 \times 10^2 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
Soils and waters		
Clay	1-100	0.01 - 1
Alluvium	10 -800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Groundwater (fresh)	10 -100	0.01 - 0.1
Sea water	0.2	5
Chemicals		
Iron	9.074×10^8	1.102×10^7
0.01 M Potassium Chloride	0.708	1.413
0.01 M Sodium Chloride	0.843	1.185
0.01 M Acetic acid	6.13	0.163
Xylene	6.998×10^{16}	1.429×10^{-17}

Figura 2.10 Valores de resistividad según el tipo de roca (Loke, 2004)

2.2.4 Fase IV: Interpretación y correlación de resultados litológicos y geofísicos

Esta fase consiste en realizar los perfiles geoelectricos y los mapas de resistividad. Los perfiles geoelectricos resultan de la correlación entre los SEVs realizados en campo con su interpretación litológica, para así obtener la profundidad de las capas en aquellos puntos desconocidos y la extensión de cada estrato. Estos perfiles fueron generados con el software GEO 5 en su versión demo. Los mapas de resistividad se realizaron en el software Surfer mediante la carga de los datos de resistividad con su coordenada.

2.2.5 Fase IV: Determinación de las posibles zonas de explotación

En esta última fase a partir de lo analizado en campo, las interpretaciones y correlaciones de los SEVs, se realizó en el software ArcMap la ubicación de las posibles zonas potenciales para realizar la explotación de aguas subterráneas. También, se propone las directrices para realizar un abastecimiento sostenible en la comuna donde se plantearon las observaciones sobre el correcto control y uso de los pozos de agua.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El análisis multitemporal y balance hídrico son resultados de la fase I, donde se usó los datos de la estación Manglaralto y Colonche, respectivamente. A continuación, se detalla cada resultado.

3.1 Análisis multitemporal

Se realizó el análisis multitemporal (Figura 3.1) con los datos anuales de precipitación y evapotranspiración real de la estación Manglaralto, debido a su disponibilidad de datos y cercanía al área de influencia. Según los polígonos de Thiessen generados por cada estación meteorológica (Anexo 2), los datos de la estación Manglaralto son representativos para el área de estudio. Los datos de temperatura, precipitación y de la evapotranspiración real se encuentran en el Anexo 3.

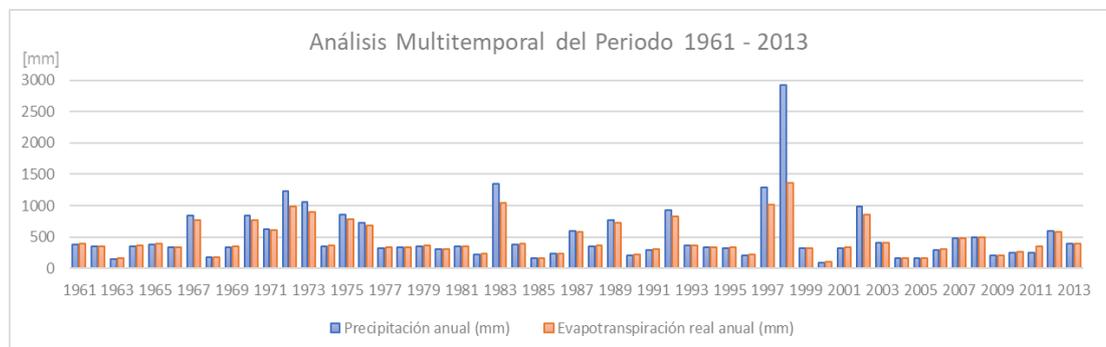


Figura 3.1 Análisis multitemporal para el periodo 1961-2013

En la Figura 3.1, se puede observar que entre la precipitación y la evapotranspiración real no hay una gran variación, esto indicada que posiblemente no exista las suficientes entradas de agua para la recarga de acuíferos en el sector. Solo en el año 1998 se refleja una precipitación muy alta, debido que se dio el fenómeno del niño durante ese año. Con esta información también se identificó los periodos secos y húmedos de la zona (Figura 3.2).

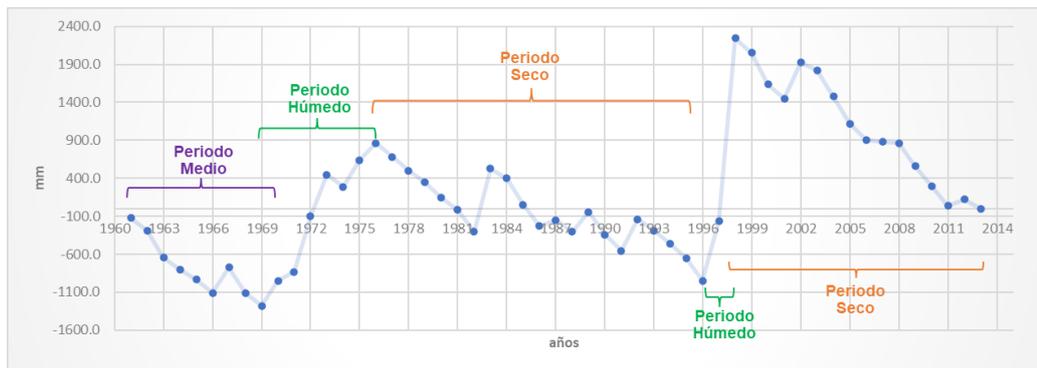


Figura 3.2 Análisis de periodos secos y húmedos

El diagrama de la Figura 3.2 indica las secuencias secas y húmedas. En el área de estudio las secuencias predominantes son las secas con series de casi 20 años, mientras la secuencia húmeda no supera los 8 años.

3.2 Balance hídrico

Se realizó el balance hídrico en el periodo 1990 – 2014 de una secuencia seca, sin embargo, no se consideraron los años 1997, 1998, 2001 y 2002, por la falta de datos de precipitación en la estación Colonche y en las estaciones vecinas. En la Figura 3.3 se observan los resultados del balance hídrico.

Se aplicó regresión lineal con los datos de la estación El Suspiro (M245) para completar los datos faltantes de precipitación de los años 1993, 1994, 2000 y 2009 (Anexo 7 y 8).

Tabla 3.1 Balance hídrico del periodo 1990 – 2014

											Reserva máx:	344.79	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P	48.1	91.4	47.5	30.1	13.3	2.3	2.8	3.3	1.2	4.6	3.0	2.3	250
ETP	137.9	130.5	147.8	140.1	128.7	108.5	98.2	95.8	95.6	102.8	104.0	122.3	1412.2
ETR	48.1	91.4	47.5	30.1	13.3	2.3	2.8	3.3	1.2	4.6	3.0	2.3	250.0
DÉF.	89.8	39.1	100.3	110.0	115.3	106.1	95.4	92.5	94.4	98.3	101.0	120.1	1162.2
RES.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EXC.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

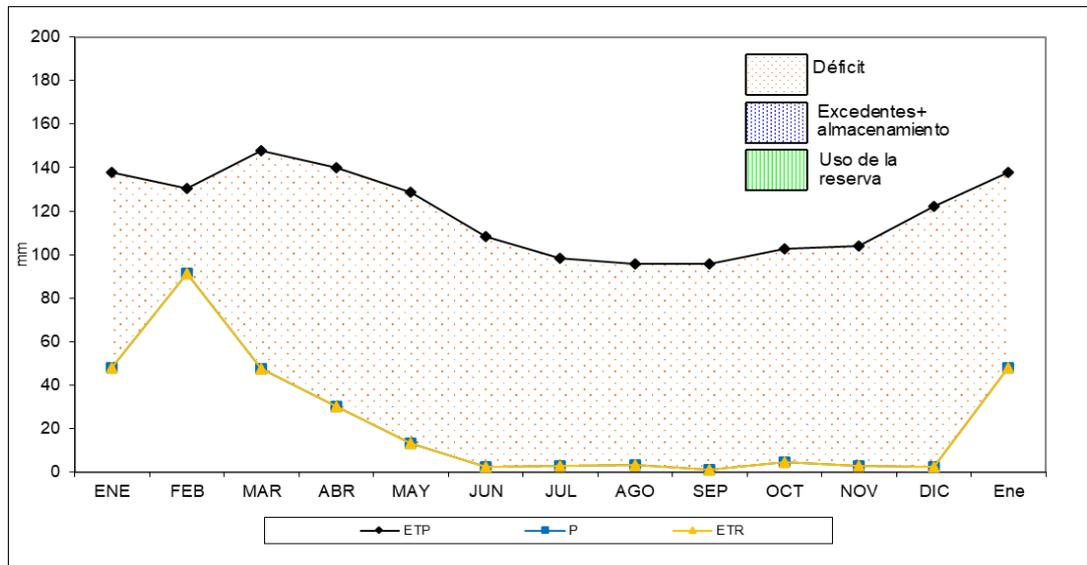


Figura 3.3 Esquema del balance hídrico

En la Tabla 3.1, se puede observar que el mes con mayor precipitación media es febrero y que los meses secos son a partir de junio hasta diciembre. Por otro lado, se halló que la capacidad de campo de la microcuenca es capaz de retener hasta 344.79 mm de agua

Los resultados del balance hídrico (Tabla 3.1 y Figura 3.3) de la microcuenca del Río Javita muestran una evapotranspiración potencial anual de 1162.2 mm ante una precipitación media anual de 250 mm, lo que indica que toda el agua precipitada teóricamente se evapotranspira. La zona se encuentra siempre en déficit, es decir que no hay reservas ni excedentes mensual.

Este tipo de comportamiento se observa cuando los valores de precipitación media mensual no superan los valores de evapotranspiración potencial, esto indica que la cantidad de agua precipitada no es suficiente para cubrir las necesidades de evapotranspiración.

Cabe recalcar que el balance hídrico se lo realizó en años de secuencia seca, como se puede observar en la Figura 3.2, en consecuencia, se espera que exista algún tipo de almacenamiento durante secuencias húmedas y así se recarguen los acuíferos en la cuenca.

A continuación, se detalla los resultados que se obtuvieron en la fase II: inventario de pozos, nivel estático, medición de parámetros fisicoquímicos, cabezal hidráulico y el mapa de isopieza.

3.3 Inventario de pozos

Se registró 5 pozos existentes en la comuna “La Aguadita” (Figura 3.4; Tabla 3.2) y se asignó una nomenclatura numérica, además se agregó información sobre su origen, ubicación y plataforma, siendo este el inicio de una base de datos que será relevante para el registro de información durante el presente estudio.



Figura 3.4 Mapa de ubicación de pozos y albarradas

Tabla 3.2 Censo de pozos de la comuna “La Aguadita”.

Pozo	Nombre	Ubicación			Plataforma de pozo (m)
		Este (m)	Sur (m)	m.s.n.m	
1	Pozo Principal	543828	9764081	103.54	0.58
2	Pozo central	543816	9764110	102.88	0.71
3	Pozo final	543826	9764120	102.56	0.41
4	Pozo cercano a la albarrada	543765	9764003	106.28	0.56
5	Pozo Municipal	543637	9764451	102.12	0

Se nombró los pozos según como los conocen los moradores (Tabla 3.2). Los datos de ubicación se midieron con el GPS (este y sur) y se usó el DEM ALPSR266517140 del satélite ALOS para asignar las cotas de cada pozo.

Los pozos 1, 2, 3 y 4 fueron realizados por los comuneros, sobre estos pozos se ha construido una plataforma cubierta por tablas, para impedir el ingreso de elementos potencialmente contaminadores para el agua. El pozo 5 fue realizado por el municipio del cantón Santa Elena, este no presenta plataforma y no se encuentra cubierto. El registro fotográfico de los pozos se encuentra en Anexo 11 al 15.

Ninguno de los pozos cuenta con una bomba de agua, en consecuencia, la comunidad extrae el agua con baldes. Los pozos al no tener un adecuado mantenimiento, ya sea por la falta de conocimiento o visión por parte de los comuneros, se encuentran en mal estado. Actualmente, se usa los pozos para abastecer el ganado, el pozo 1 como prioritario y los pozos 2, 3 y 4 de emergencia.

Tabla 3.3 Censo de las albarradas de la comuna “La Aguadita”

Albarrada	Nombre	Ubicación			Observaciones
		Este (m)	Sur (m)	m.s.n.m	
1	Albarrada principal	543715	9763958	109.36	Uso ganadero
2	Albarrada sin desfogue	543909	9764212	100.14	

Adicionalmente, en la Tabla 3.3 se muestra el registro de las albarradas existentes en la comuna. La albarrada 1 y 2 se llenan en la temporada de lluvia. Existe un río intermitente que cruza por la albarrada principal y la “sin desfogue”. Durante la época seca, el agua de las albarradas es aprovechada directamente por el ganado, hasta que se secan. Además, durante los inicios del presente estudio las albarradas presentaban agua, pero en las últimas visitas de campo (enero) ya estuvieron secas. En Anexo 16 y 17 se observa el registro fotográfico de las albarradas.

3.4 Medición del nivel estático

En la Tabla 3.4, se muestra las medidas del nivel estático de cada pozo de los meses de septiembre, octubre y diciembre, datos que fueron recolectados en campo y necesarios para el cálculo del potencial hidráulico.

Tabla 3.4 Medidas del nivel estático de septiembre a diciembre

Pozo	Nivel Estático (m)		
	27/09/2021	29/10/2021	2/12/2021
1	0.61	0.82	1
2	-	0.25	0.6
3	-	0.57	0.72
4	1	1.18	1.27
5	-	-	2

En los pozos 1 y 4, se puede observar la variación de los niveles estáticos de los tres meses, en donde se aprecia que ha aumentado y esto podría ser por la alta tasa de evapotranspiración que se presenta en la comuna. De la misma forma, el nivel de los pozos 2 y 3 ha aumentado en los dos meses que se ha registrado el nivel estático.

3.5 Medición de parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 3.5 hasta la 3.7, se observa los resultados de la medición de los parámetros fisicoquímicos del agua de los pozos y de las albardadas, de los meses de septiembre, octubre y diciembre, respectivamente.

Tabla 3.5 Medidas de parámetros fisicoquímicos del mes de septiembre

Pozos						
#	pH	S (g/l)	C	R	TDS	T (°C)
1	7.43	6	10.46 ms/cm	95.81 Ω cm	10.5 g/l	27.7
4	7.57	1	2.06 ms/cm	485 Ω cm	2.05 g/l	30
Albardadas						
1	9.53	0.1	422 us/cm	2.33 kΩ cm	422 mg/l	33.1

En el mes de septiembre solo se midió los pozos 1 y 2, y la albardada 1. Los pozos presentan un pH básico y la albardada ligeramente alcalino. El contenido de sal del pozo 1 es muy alto con relación al pozo 4, por lo que se infiere una posible influencia por parte de la albardada 1 hacia el agua del pozo 4, como si fuera un filtro natural de agua.

Tabla 3.6 Medidas de parámetros fisicoquímicos del mes de octubre

Pozos						
#	pH	S (g/l)	C	R	TDS	T (°C)
1	7.53	6	10.46 ms/cm	95.6 Ω cm	10.47 g/l	28
2	7.4	3.7	6.82 ms/cm	146 Ω cm	6.82 g/l	28
3	7.39	3.6	6.58 ms/cm	152.1 Ω cm	6.57 g/l	27.4
4	7.42	1.2	2.72 ms/cm	367 Ω cm	2.72 g/l	26.7

En el mes de octubre se midieron los pozos 1, 2, 3 y 4. El contenido de sal de los pozos 1, 2 y 3 son elevados, a excepción del pozo 4. Aledaño al pozo 1 se encuentra un afloramiento con vetillas de yeso que buzan en dirección a este pozo, indicando la influencia de esta capa. Los pozos 2 y 3 se encuentran a 30 m del pozo principal, no presentan un contenido de sal tan alto como el pozo 1.

Tabla 3.7 Medidas de parámetros fisicoquímicos del mes de diciembre

Pozos						
#	pH	S (g/l)	C	R	TDS	T (°C)
1	7.53	5.5	9.76 ms/cm	102.4 Ω cm	9.76 g/l	26.6
2	7.4	2.9	5.31 ms/cm	180.3 Ω cm	5.31 g/l	26
3	7.39	3	5.53 ms/cm	180.3 Ω cm	5.53 g/l	26.5
4	7.42	1.6	3.08 ms/cm	324 Ω cm	3.08 g/l	25.4
5	-	2.5	4.58 ms/cm	218 Ω cm	4.59 g/l	25.4
Albarradas						
1	9.53	0.4	913 us/cm	1096 Ω cm	913 g/l	25.7

En el mes de diciembre se midió los parámetros de todos los pozos y de la albarrada 1, se obtuvo que el total de sólidos disueltos es elevado, según las guías para la calidad de agua potable realizados por la OMS. El TDS de la albarrada es muy elevado debido a la influencia directa por parte del ganado, mientras que el de los pozos se debe a la falta de cuidado por partes de los moradores, ya que durante el censo de los pozos se evidenció que dentro de ellos hay ramas de árboles y plásticos.

En relación con los parámetros medidos mensualmente, se puede observar que hay variación de los valores de salinidad y de TDS en el agua de los pozos. El pozo 4 presenta mejores valores, sin embargo, no es recomendable para el consumo humano, además su valor de salinidad ha ido aumentando y esto posiblemente se debe a que la albarrada se está secando y no esté influyendo sobre el pozo 4.

3.6 Cálculo del cabezal hidráulico

En la Tabla 3.8, se muestra el cabezal hidráulico de cada uno de los pozos en los tres meses que se realizó la medición del nivel estático. El cálculo del cabezal hidráulico se lo realizó con los datos del nivel estático y la cota sobre el nivel del mar. Con los valores de los cabezales hidráulicos del mes de diciembre se realizó un corte topográfico que atraviesa los pozos 1 – 4 y la albarrada 1 (SO-NE) (Figura 3.5), el cual indica flujos descendentes, además se estableció la capa freática a través del corte (Figura 3.6).

Tabla 3.8 Cabezal hidráulico de los pozos de septiembre a diciembre

Pozo	Cabezal Hidráulico (m)		
	27/09/2021	29/09/2021	2/12/2021
1	102.93	102.717	102.54
2	-	102.63	102.28
3	-	101.994	101.84
4	105.28	105.1015	105.01
5	-	-	100.12

El cabezal hidráulico de cada uno de los pozos ha disminuido al pasar los meses, el cual presenta relación con el clima de la comuna, puesto que se tomaron los datos durante la época seca. Esto se atribuye a la evapotranspiración como la causa directa de la variación.

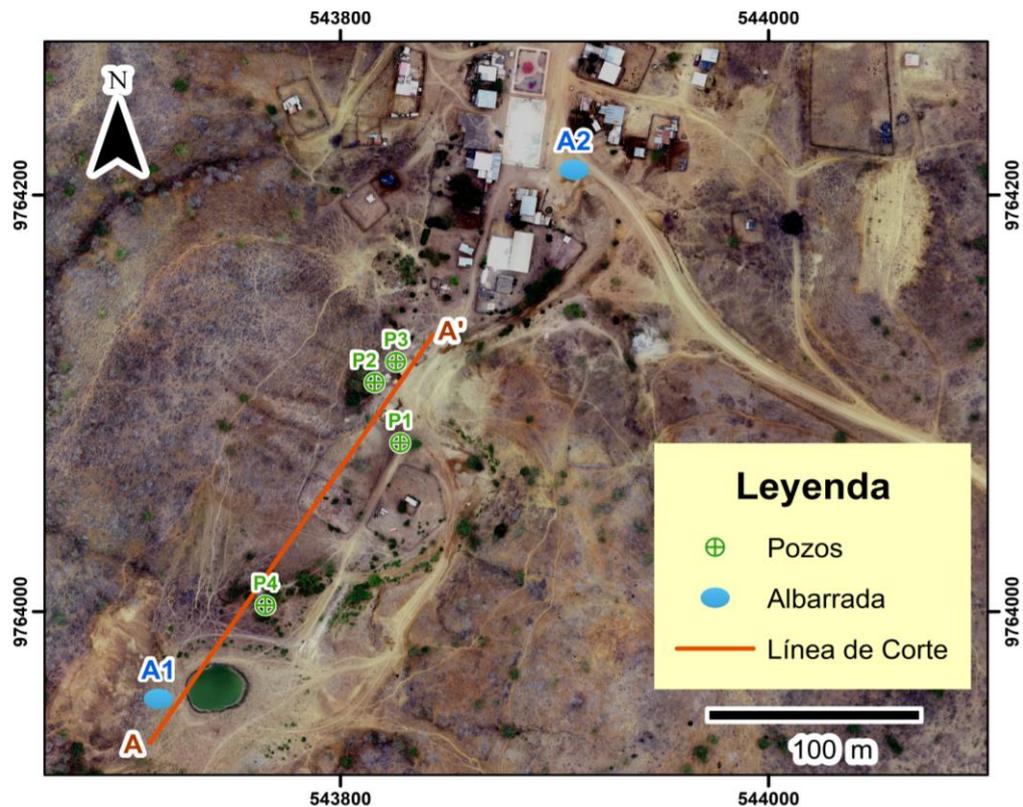


Figura 3.5 Ubicación del perfil topográfico

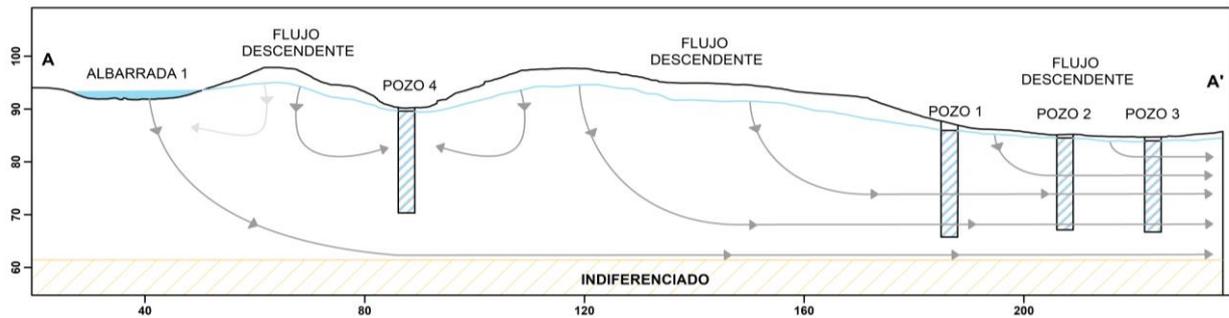


Figura 3.6 Esquema de red de flujo de los pozos 1 al 4 y la albardada 1

Al ser un acuífero libre, se bosquejó la superficie freática acorde a la topografía del terreno y a una profundidad de 3 m de la superficie, ya que las interpretaciones realizadas en los SEVs indica que la capa saturada se encuentra a una profundidad promedio de 3 m. Además, se indicó una capa indiferenciada a una profundidad promedio de 33 m, debido que es la profundidad máxima que se ha llegado con los SEVs.

El esquema de la Figura 3.6 muestra que las direcciones de flujo entre los puntos de agua son descendentes, esto indica que sobre el área del corte topográfico se filtra el flujo, es decir que es una zona de recarga de aguas subterráneas. También, se observa que el flujo del agua de la albardada 1 tiene incidencia en el pozo 4, esto tiene como consecuencia la influencia de las propiedades fisicoquímicas de la albardada sobre el agua de este pozo; si se lo relaciona con los resultados obtenidos en la medición de parámetros fisicoquímicos (Tabla 3.5 al 3.7), explicaría el bajo contenido de sal que presenta el pozo 4 con respecto a los otros pozos, y es porque el agua de la albardada no influye en los pozos 1, 2 y 3.

Se consideró la cota de la albardada 1 como un punto de cabezal hidráulico para realizar las líneas de isopiezas, debido a que la capa freática es casi superficial y porque es un acuífero libre.

3.7 Mapa de isopiezas

En la Figura 3.7 se muestra el mapa de isopiezas, el cual se realizó con los valores del cabezal hidráulico de los pozos del 1 al 4 del mes de diciembre; el pozo 5 no se incluyó debido a su ubicación y no se tiene certeza si pertenece al mismo acuífero. Adicionalmente, se consideró a la albarrada 1 para realizar el mapa de isopieza, por tanto, se usó el valor de su cota como cabezal hidráulico.



Figura 3.7 Mapa de isopiezas de la comuna La Aguadita

Como se puede observar en la Figura 3.7, se estableció la superficie freática a través de las isóneas, estas se encuentran separadas a un metro de distancia y el sentido de la dirección de flujo va del mayor cabezal hidráulico hacia el menor; esto guarda relación con el perfil topográfico del diagrama de flujo (Figura 3.7). Estas isopiezas pertenecen a las de un acuífero libre y la región delimitada entre las isóneas 105 a 109, pertenece es una zona de máxima gradiente, mientras que la región delimitada entre las isóneas 105 a 101 es una zona de mínimo gradiente.

Ante la ausencia del río intermitente sobre el área de estudio, no se pudo determinar la relación entre río – acuífero (río efluente e influente), es decir,

si son ríos que ganan o pierden agua por el acuífero libre. Aunque su comportamiento se espera sea variable según la época del año.

Los resultados de la fase III, se encuentra descritos a continuación en el apartado de levantamiento litológico y Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs).

3.8 Levantamiento litológico

Se realizó el levantamiento de la litología de la zona de interés explorando los afloramientos más representativos, en la Figura 3.8 se observa la distribución de las estaciones de campo.

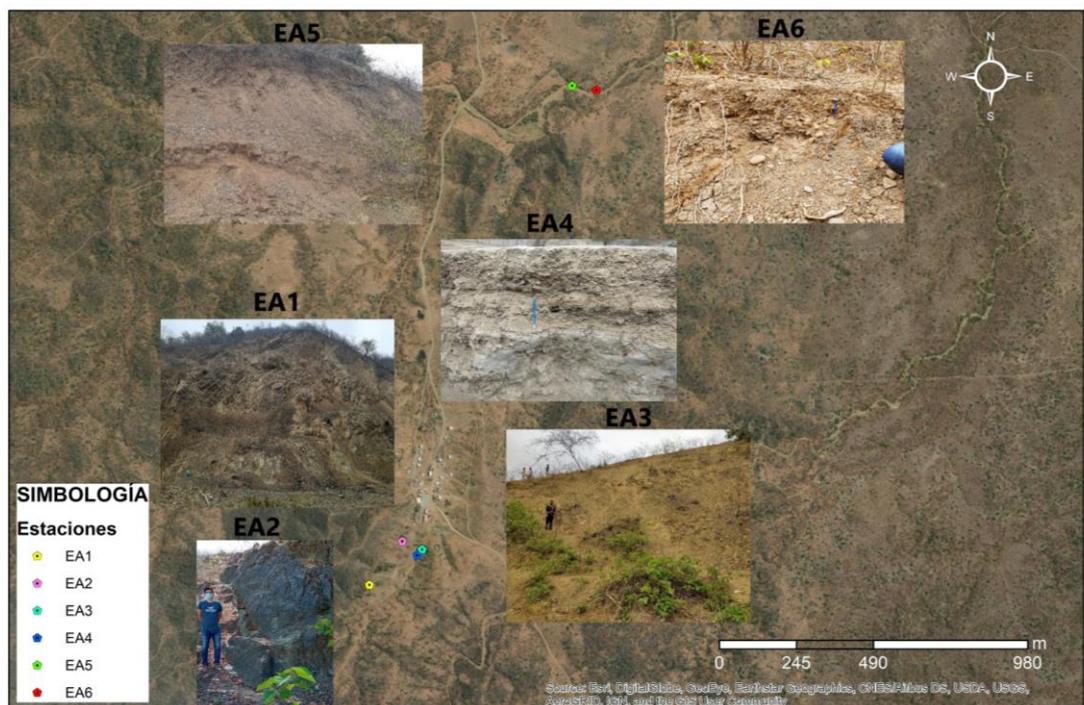


Figura 3.8 Mapa de las estaciones para la descripción litológica

En la Tabla 3.9 se muestra el resumen de las observaciones y descripciones de los afloramientos de las estaciones, se menciona la ficha correspondiente que se encuentra en los Anexos 18 al 23. Para el resto de la zona de estudio se realizó un análisis mediante las fotografías satelitales y el modelo digital del terreno proporcionado por el dron.

Tabla 3.9 Resumen de la descripción litológica de afloramientos

Estación	Este	Norte	Resumen	Formación	Ficha de campo
EA1	543702	9763957	Plegamientos en el afloramiento, anticlinal, presencia de diaclasas. Litología de rocas volcanoclásticas de color verde grisáceas.	Fm Cayo con contacto aluvial	Ver Anexo 18
EA2	543806	9764098	Afloramiento con familias de diaclasas. La litología del afloramiento es lutitas color grisáceas con gran fisibilidad.	Fm Cayo con contacto aluvial	Ver Anexo 19
EA3	543869	9764071	Afloramiento con sedimentos sueltos producto de la meteorización. La litología es arenisca de grano grueso a medio de color beige amarillento.	Depósitos aluviales	Ver Anexo 20
EA4	543853	9764052	Afloramiento estratificado con matriz arcillosa, esqueleto de gravas. Conglomerados grano soportado.	Depósitos aluviales	Ver Anexo 21
EA5	544345	9765572	Afloramiento meteorizado. Intercalaciones de areniscas color rojo amarillento y lutitas color verde amarillento. Presencia de contacto. Grupo Ancón arcillas y lutitas, Miembro Zapotal areniscas de grano fino a medio.	Grupo Ancón y miembro zapotal	Ver Anexo 22
EA6	544422	9765558	Capas horizontales con intercalaciones de arcillas y conglomerados clastos sostenidos con matriz arcillosa.	Grupo Ancón y depósitos aluviales	Ver Anexo 23

En el Anexo 28 y 29 se observa la delimitación de la geología mediante la fotointerpretación, donde las zonas de cauce de ríos son claramente depósitos aluviales y otras analizadas en la exploración de campo son zonas de depósitos coluvio aluviales. Las zonas de contraste de colores y forma del relieve son zonas de cambios litológicos, esta interpretación se realizó con la ayuda de la información bibliográfica antes consultada del IGM, SNI y satélite ALOS. En el Anexo 30 se observan los modelos digitales obtenidos mediante el Dron, en los cuales se plasma la interpretación litológica. En la Figura 3.9 y 3.10 se observa el mapa y el esquema litológico del área de estudio respectivamente.

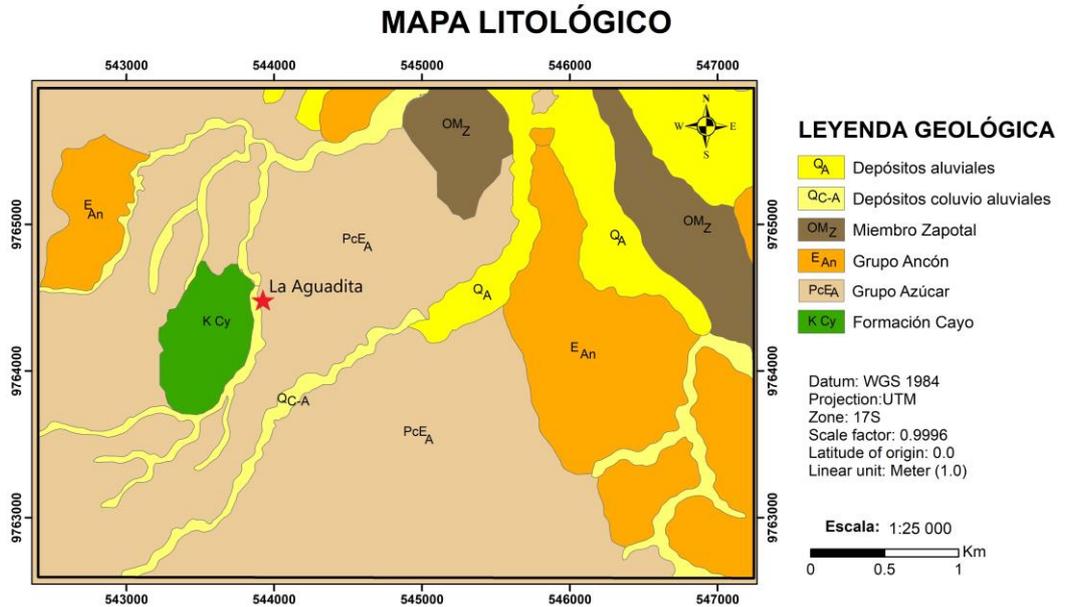


Figura 3.9 Mapa litológico del área de estudio

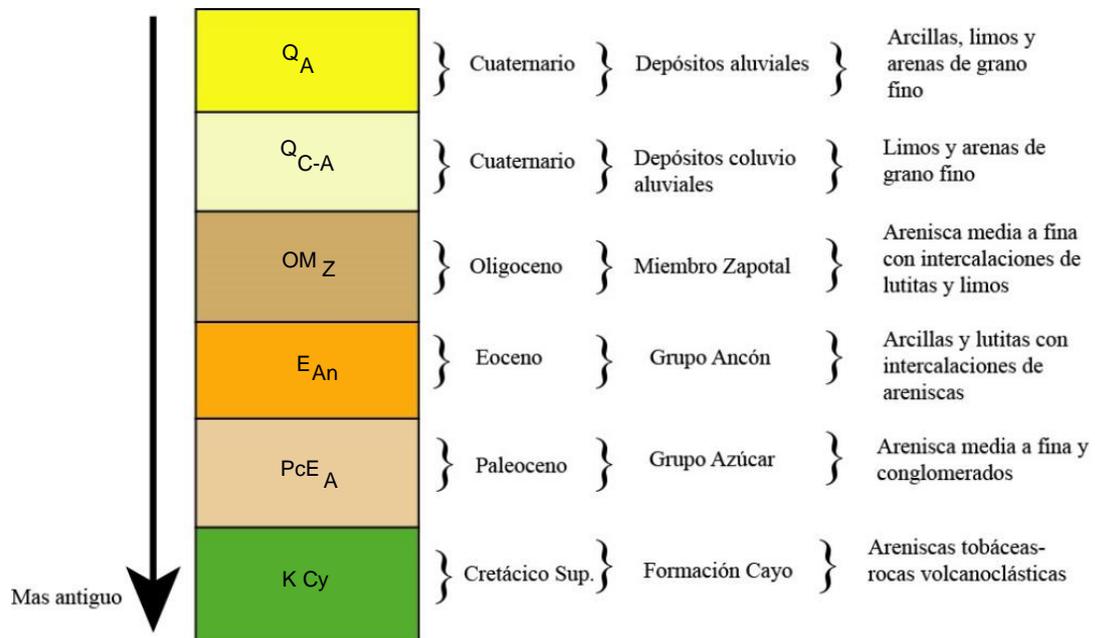


Figura 3.10 Esquema litológico del área de estudio

3.9 Sondeos eléctricos verticales

Se realizó 6 sondeos eléctricos verticales, como se observa en la Figura 3.11. La ubicación de estos sondeos se basó en las observaciones de campo como: cercanía de ríos, albardas y pozos.

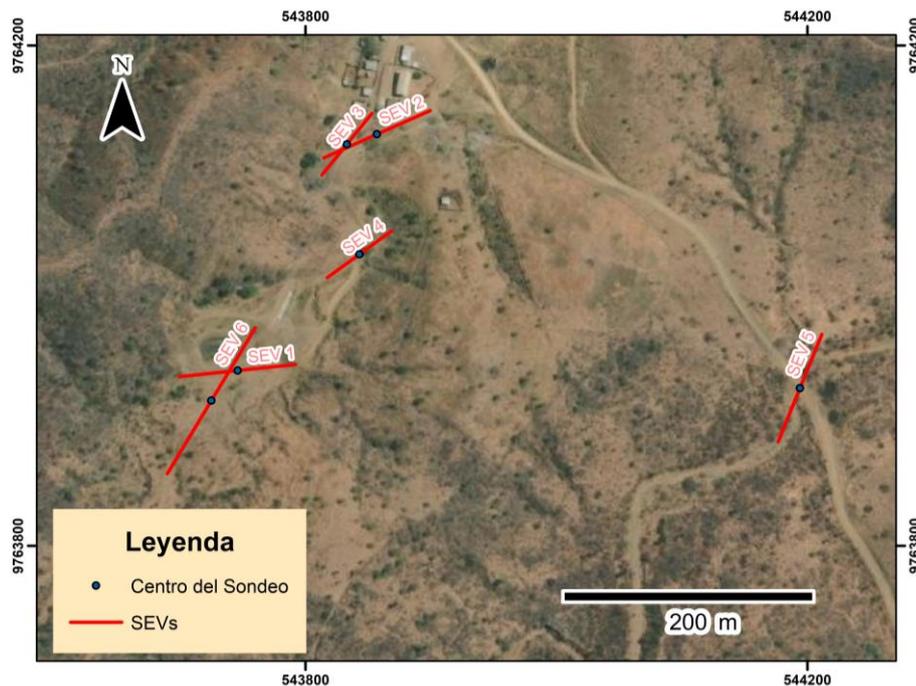


Figura 3.11 Mapa de ubicación de los SEVs

Los datos recolectados en campo por el equipo terrameter SAS 1000 se encuentran en el Anexo 31 al 36. En la Tabla 3.10, se muestra la ubicación del punto central y la distancia longitudinal total de cada sondeo.

Tabla 3.10 Tabla de ubicación de sondeos

SEV	Ubicación			Distancia (m)
	Este (m)	Sur (m)	Cota (m)	
1	543746	9763940	102	92.8
2	543857	9764129	88	92.8
3	543833	9764121	91	63.2
4	543843	9764033	90	63.2
5	544194	9763926	95	92.8
6	543725	9763916	105	136.2

A partir de esto, se obtuvo las curvas de resistividad y la interpretación de cada sondeo que se muestra a continuación.

3.9.1 SEV 1

Para este sondeo se obtuvo un error de 4.90%. En la Figura 3.12 se muestra la curva de campo y en la Tabla 3.11 la interpretación de las capas con sus respectivas profundidades. De techo a piso, se identificaron rocas compactas muy fracturadas hasta una profundidad de 1.07 metros, después le sigue una capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso hasta los 5.05 metros de profundidad, luego se encuentra una capa arcillas y arenas hasta los 6.15 metros, seguido se tienen arenas, arcillas, y/o gravas saturadas, hasta 31.1 metros de profundidad, finalmente se tiene roca compacta poco fracturada.

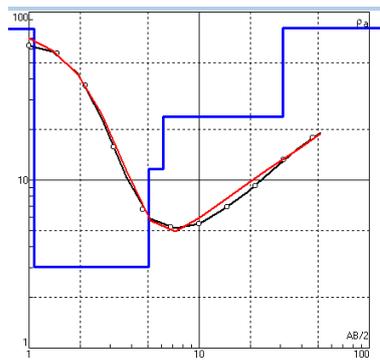


Figura 3.12 Curva de resistividad SEV 1

Tabla 3.11 Interpretación SEV 1

Capa n.º	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Rocas compactas muy fracturadas	1.07	1.07	79.3
2	Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso	3.98	5.05	3.04
3	Arcillas y arenas	1.1	6.15	12.6
4	Arenas, arcillas, y/o gravas saturadas	24.9	31.1	23.8
5	Roca compacta muy fracturada			80.3

3.9.2 SEV 2

Para este sondeo se obtuvo un error de 3.50 %. En la Figura 3.13 se muestra la curva de campo y en la Tabla 3.12 la interpretación de las capas con sus respectivas profundidades. De techo a piso, se identificaron arcillas y arenas hasta una profundidad de 2.24 metros, después le sigue una capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso hasta 2.26 metros de profundidad, luego se encuentra una capa arenas con gravas saturadas hasta los 32.8 metros, finalmente se tiene roca compacta muy fracturada.

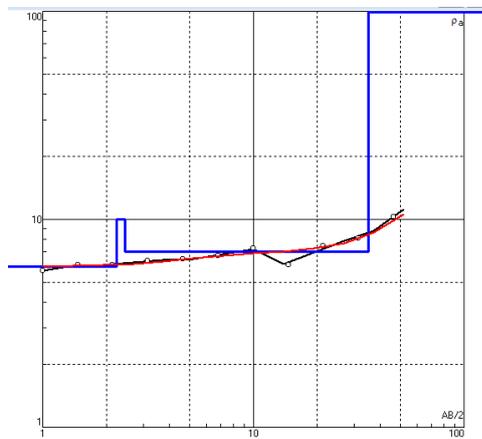


Figura 3.13 Curva de resistividad SEV 2

Tabla 3.12 Interpretación SEV 2

Capa n.º	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Arcillas y arenas	2.24	2.24	10
2	Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso	0.215	2.46	5.93
3	Arenas, arcillas y/o gravas saturadas	30.4	32.8	6.99
4	Rocas compactas muy fracturadas			309

3.9.3 SEV 3

Para este sondeo se obtuvo un error de 2.55 %. En la Figura 3.14 se muestra la curva de campo y en la Tabla 3.13 la interpretación de las capas con sus respectivas profundidades. De techo a piso, se identificaron arcillas y arenas hasta una profundidad de 0.493 metros, después le sigue una capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso hasta los 2.46 metros de profundidad, luego se encuentra una capa de arenas, arcillas y/o gravas saturadas hasta los 32.8 metros, finalmente se tienen rocas compactas muy fracturadas.

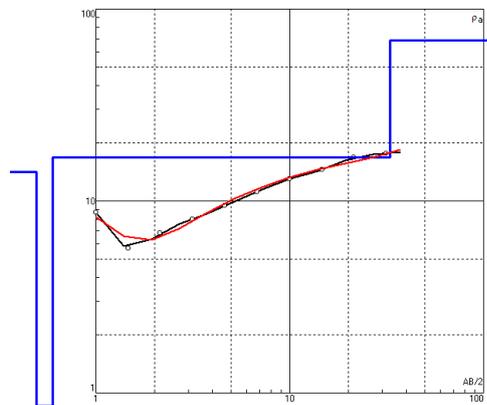


Figura 3.14 Curva de resistividad SEV 3

Tabla 3.13 Interpretación SEV 3

Capa n.º	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Arcillas y arenas	0.493	0.493	14.2
2	Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso	0.105	2.46	0.493
3	Arenas, arcillas y/o gravas saturadas	29.8	32.8	16.9
4	Rocas compactas muy fracturadas			70.1

3.9.4 SEV 4

Para este sondeo se obtuvo un error de 3.41 %. En la Figura 3.15 se muestra la curva de campo y en la Tabla 3.14 la interpretación de las capas con sus respectivas profundidades. De techo a piso, se identificaron arcillas y arenas hasta una profundidad de 1.95 metros, después le sigue una capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso hasta los 3.84 metros de profundidad, luego se encuentra una capa de arenas, arcillas y/o gravas saturadas hasta los 30.01 metros, finalmente se tiene roca compacta muy fracturada.

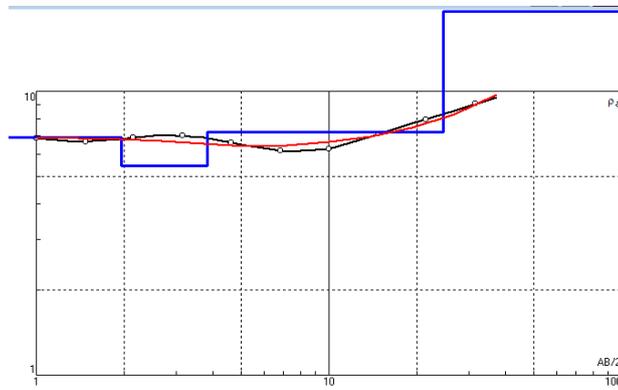


Figura 3.15 Curva de resistividad SEV 4

Tabla 3.14 Interpretación SEV 4

Capa n.º	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Arcillas y arenas	1.95	1.95	6.88
2	Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso	1.89	3.84	5.46
3	Arenas, arcillas y/o gravas saturadas	26.17	30.01	7.18
4	Rocas compactas muy fracturadas			46.3

3.9.5 SEV 5

Para este sondeo se obtuvo un error de 3.40%. En la Figura 3.16 se muestra la curva de campo y en la Tabla 3.15 la interpretación de las capas con sus respectivas profundidades. De techo a piso, se identificaron arcillas hasta una profundidad de 0.933 metros, después le sigue una capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso hasta los 3.14 metros de profundidad, luego se encuentra una capa arcillas y arenas hasta los 4.94 metros, seguido se tienen arenas, arcillas, y/o gravas saturadas hasta 29.3 metros de profundidad, finalmente se tiene rocas compactas muy fracturadas.

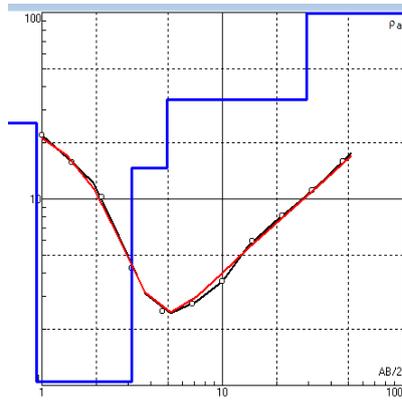


Figura 3.16 Curva de resistividad SEV 5

Tabla 3.15 Interpretación SEV 5

Capa n.º	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Arcillas	0.933	0.933	25.6
2	Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso	2.21	3.14	1.05
3	Arcillas y arenas	1.79	4.94	14.6
4	Arenas, arcillas, y/o gravas saturadas	24.4	29.3	34.1
5	Rocas compactas muy fracturadas			314

3.9.6 SEV 6

Para este sondeo se obtuvo un error de 2.40%. En la Figura 3.17 se muestra la curva de campo y en la Tabla 3.16 la interpretación de las capas con sus respectivas profundidades. De techo a piso, se identificaron arcillas hasta una profundidad de 1.09 metros, después le sigue una capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso hasta los 4.13 metros de profundidad, luego se encuentra una capa arcillas y arenas hasta los 6.21 metros, seguido se tienen arenas, arcillas, y/o gravas saturadas, hasta 43.3 metros de profundidad, finalmente se tiene roca compacta muy fracturada.

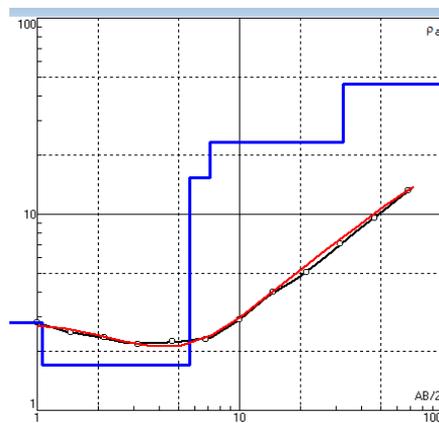


Figura 3.17 Curva de resistividad SEV 6

Tabla 3.16 Interpretación SEV 6

Capa n.º	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Arcillas	1.09	1.09	6.21
2	Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso	3.04	4.13	2.92
3	Arcillas y arenas	2.08	6.21	14.3
4	Arcillas, arenas y/o gravas saturadas	35.29	41.5	25.7
5	Rocas compacta muy fracturada			80.2

A continuación, se describen los resultados de la fase IV, compuesta de perfiles geoelectricos y mapas resistividad.

3.10 Perfiles geoelectricos

Mediante los datos de litología, espesor, profundidad y resistividad obtenidos de los SEVs, se realizó el perfil geoelectrico de cada uno, para luego obtener correlaciones entre sí. A continuación, se puede observar los perfiles geoelectricos de cada sondeo.

Soil name	Soil pattern
Rocas compactas muy fracturadas	
Arcillas	
Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso	
Arcillas y arenas	
Arenas, arcillas y/o gravas saturadas	

Figura 3.18 Leyenda perfiles geoelectricos

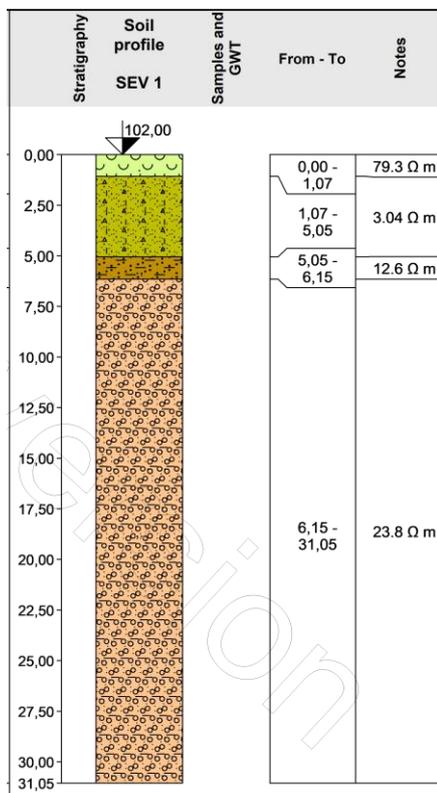


Figura 3.19 Perfil SEV 1

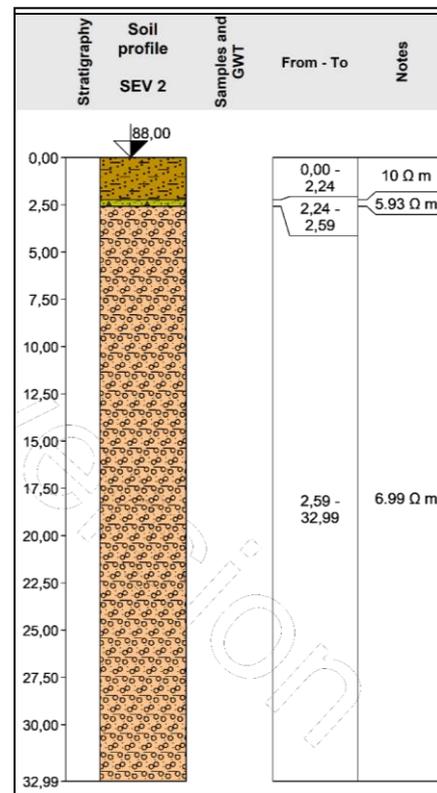


Figura 3.20 Perfil SEV 2

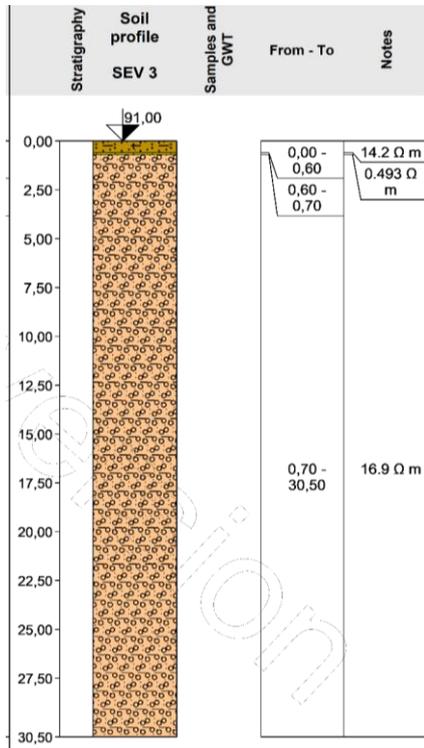


Figura 3.21 Perfil SEV 3

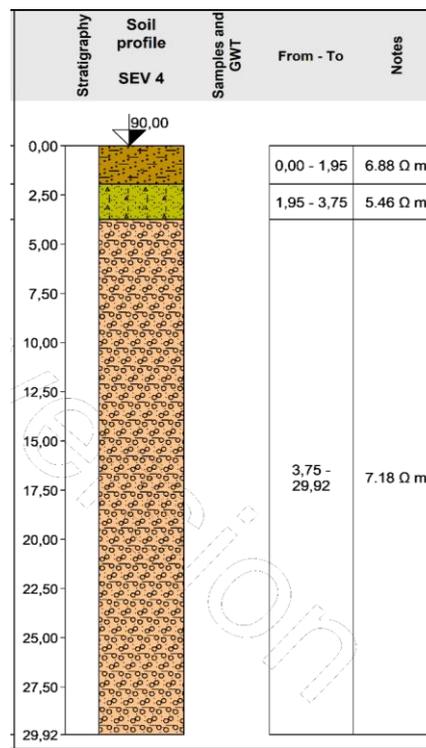


Figura 3.22 Perfil SEV 4

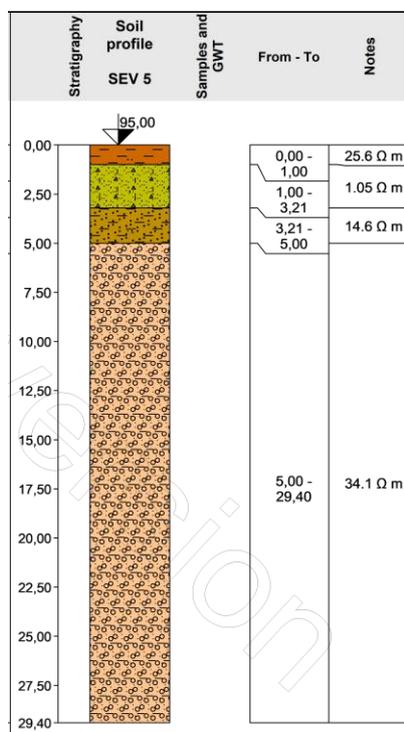


Figura 3.23 Perfil SEV 5

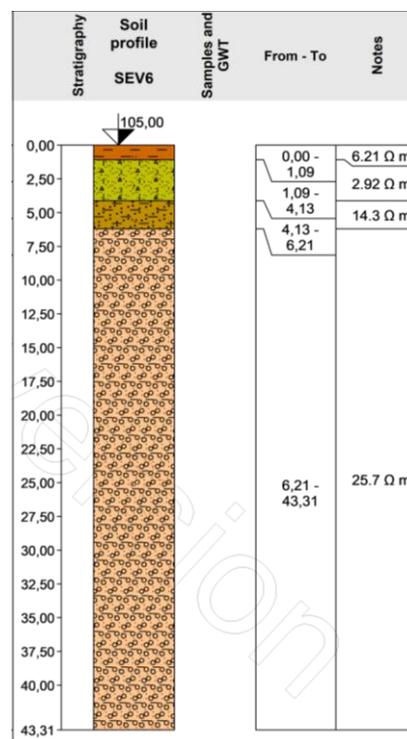


Figura 3.24 Perfil SEV 6

3.10.1 Correlación de perfiles geoelectricos

La correlación consistió en prolongar las capas litológicas con los perfiles geoelectricos para conocer la disposición estratigráfica entre las zonas de los SEVs. En la Figura 3.25 se muestra el mapa de la correlación entre los perfiles geoelectricos.

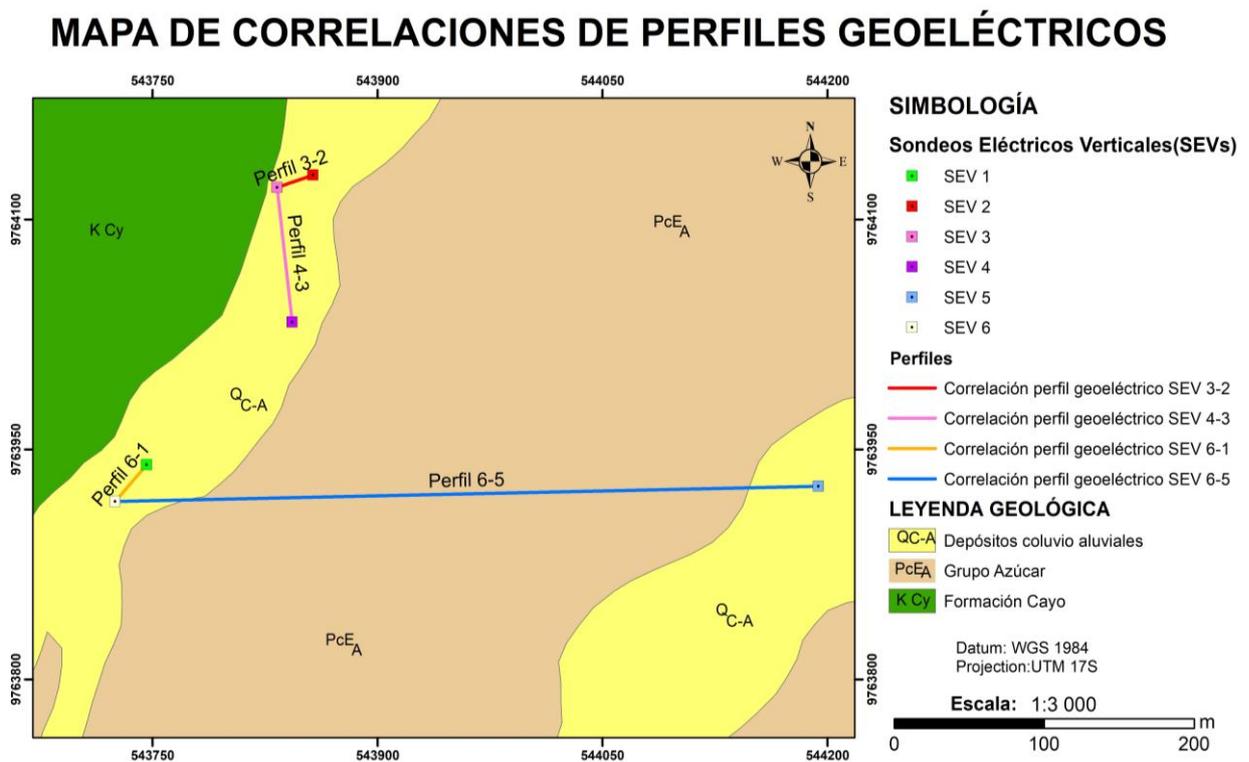


Figura 3.25 Mapa de correlaciones de perfiles geoelectricos

3.10.1.1 Correlación perfil geoelectrico SEV 3 y SEV 2

La correlación indica que la zona entre los sondeos 3 y 2 presenta una pequeña capa de yeso que es casi insignificante para el SEV 3 pero para el SEV 2 empieza a aumentar su espesor. La capa saturada de agua se encuentra a partir de los 2.50 metros aproximadamente entre estos sondeos (Figura 3.26).

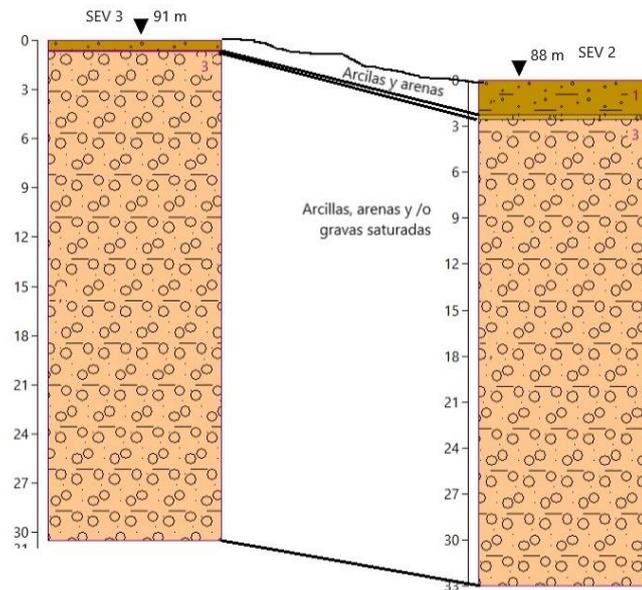


Figura 3.26 Correlación perfil geoelectrico SEV 3 y SEV 2

3.10.1.2 Correlación perfil geoelectrico SEV 4 y SEV 3

La correlación indica que la zona entre los sondeos 4 y 3 presenta una capa de yeso que disminuye su espesor hacia el SEV 3 y la capa saturada de agua disminuye su profundidad pero aumenta su espesor hacia el SEV 3, entonces en la zona de este sondeo esta capa se encuentra mas somera (Figura 3.27).

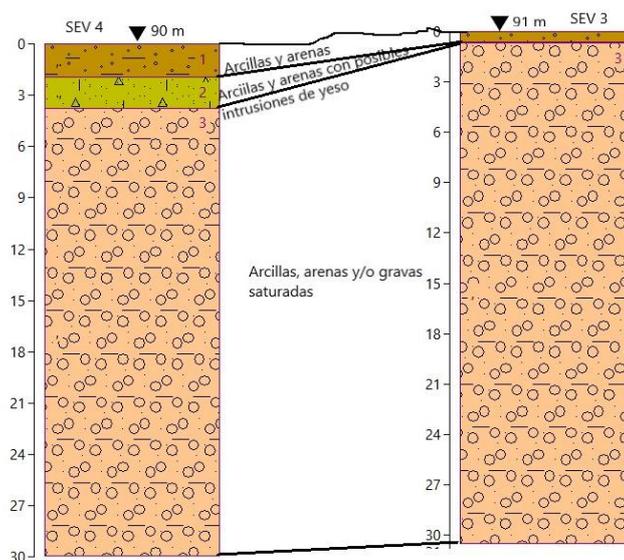


Figura 3.27 Correlación perfil geoelectrico SEV 4 y SEV 3

3.10.1.3 Correlación perfil geoelectrico SEV 6 Y SEV 5

La correlación indica que la zona entre estos sondeos presenta una capa superficial de arcillas con un espesor aproximado de 1 metro. Las capas número 2 y 3 poseen un espesor muy similar en ambos sondeos. También, entre estos SEVs se puede encontrar la capa saturada de agua a una profundidad aproximada de 5 metros pero hacia el SEV 5 su espesor disminuye, por tanto un pozo dentro de esta zona tendría características muy similares.

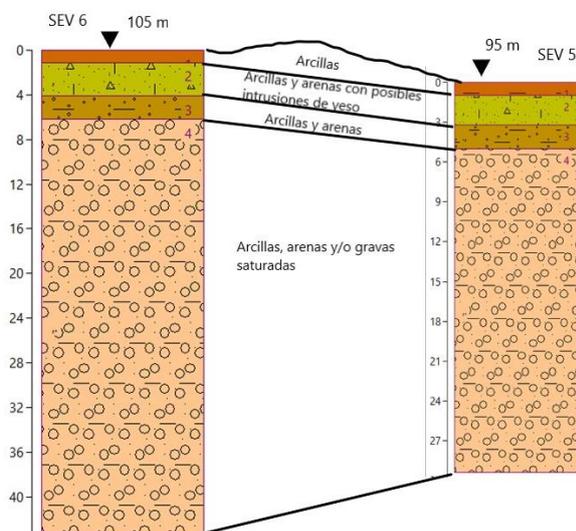


Figura 3.28 Correlación perfil geoelectrico SEV 1 Y SEV 5

3.10.1.4 Correlación perfil geoelectrico SEV 6 Y SEV 1

La correlación indica que hacia la parte del SEV 1 disminuye el espesor de de las capas excepto la de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso. La primer capa de estos sondeos no tienen correlación litológica ya que la capa SEV 6 son arcillas de depósito aluvial. La capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso en estos sondeos puede presentar menores intrusiones que en las demás zonas de la comuna, debido a que se encuentran muy cerca de la Albarrada 1 y esta filtra el agua hacia estas capas. También, se observa que la capa saturada en el SEV 6 se encuentra a mayor profundidad con respecto al SEV 1 (Figura 3.29).

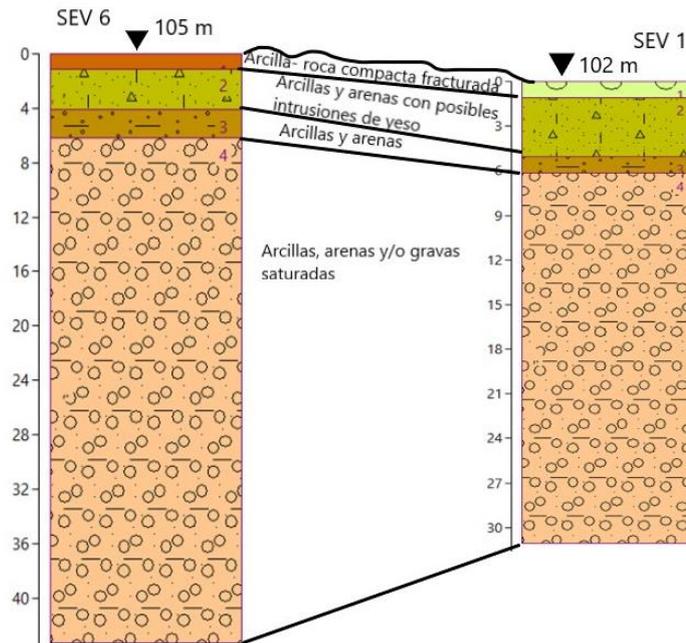


Figura 3.29 Correlación perfil geoelectrico SEV 6 Y SEV 1

Finalmente, se realizó la correlación general de los SEVs 4, 3 y 2 (Figura 3.30), donde se muestra que la capa saturada se encuentra en toda la zona de influencia de estos sondeos con espesores de 27 a 30 metros aproximadamente y una profundidad promedio de 3 metros. Entonces, la población de “La Aguadita” se encuentra asentada sobre un acuífero somero, influenciado por la recarga de los ríos intermitentes y las albardadas.

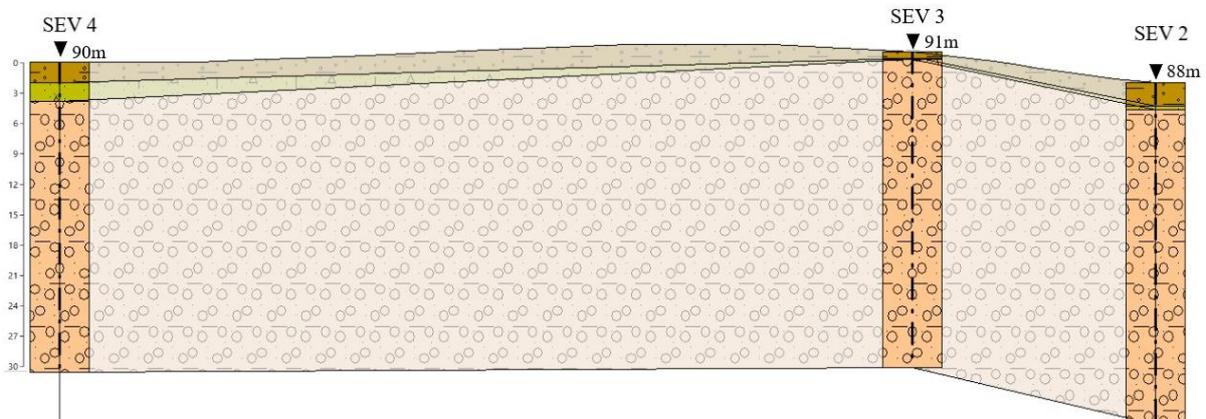


Figura 3.30 Correlación general de los SEVs 4, 3 y 2

3.11 Mapas de resistividad

Los mapas de resistividad se realizaron a 2 y 24 metros de profundidad. Esto para observar el comportamiento de la resistividad entre las distintas capas interpretadas de los SEVs. En la Figura 3.31 se observa el mapa de resistividad a 2 metros de profundidad, este promedio corresponde a límites entre capa de arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso y arenas-arcillas. La capa con posibles intrusiones de yeso tiene resistividades menores a 5 Ωm (Tabla 3.17) y en la mayoría de los SEVs se encuentra entre 1.5 a 3 metros aproximadamente de profundidad. Se muestra en el mapa que las zonas mayores a 5 Ωm , no presentarán con consideración las intrusiones de yeso. Esto se refleja en los pozos, pues la salinidad de los pozos 1, 2 y 3 es alta porque están en la zona con mayor intrusiones de yeso mientras que el pozo 4 tiene una salinidad más baja, ya que se aleja de las zonas con mayor presencia de estas intrusiones, además la infiltración de agua de la albarrada ayuda a mejorar la calidad del agua de este pozo.

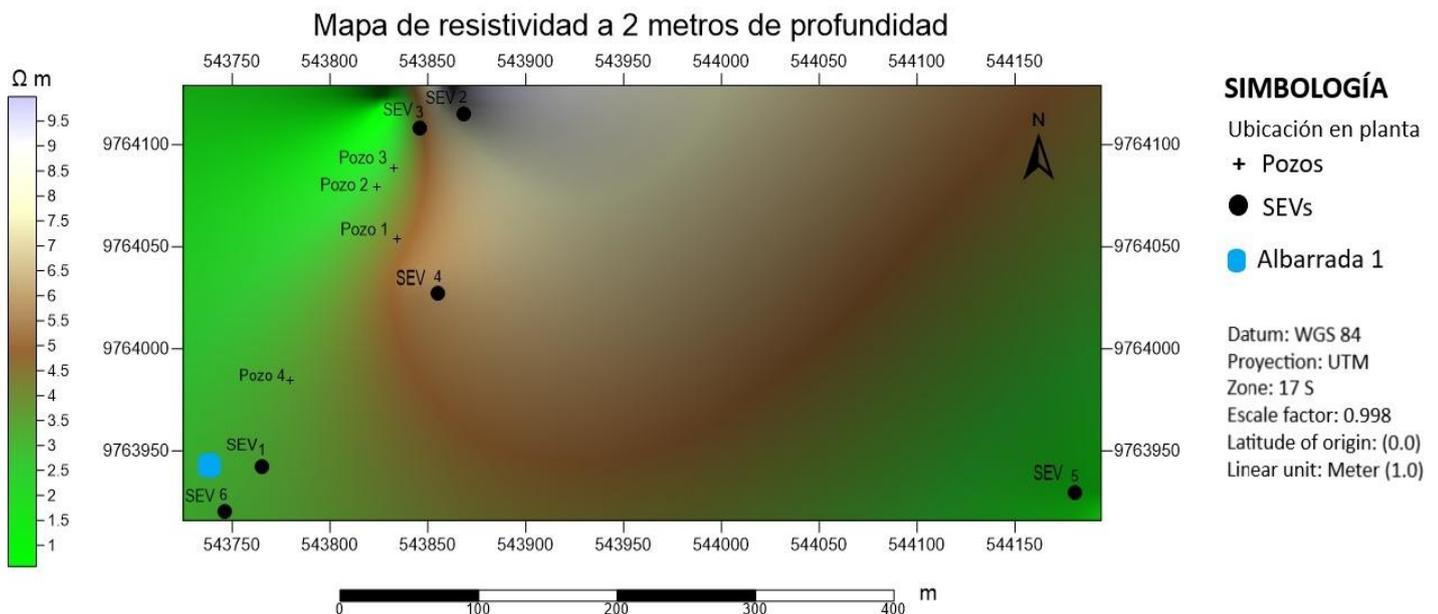


Figura 3.31 Mapa de resistividad a 2 metros de profundidad

Tabla 3.17 Descripción mapa de resistividad a 2 m de profundidad

Resistividad (Ωm)	Descripción
<5	Arcillas y arenas con posibles intrusiones de yeso
5 a 9.5	Arcillas y arenas

En la Figura 3.32 se observa el mapa de resistividad a 24 metros que pertenece a toda la capa saturada de agua. Las zonas entre resistividad de 13 a 26 Ωm son las que presentan más saturación y mayores a 26 Ωm puede disminuir ligeramente la saturación de agua. Hacia la parte noreste y este se necesitaría más SEVs para concluir con precisión si la saturación está disminuyendo. Pero en la parte oeste, noroeste, suroeste y centro del mapa la saturación es alta.

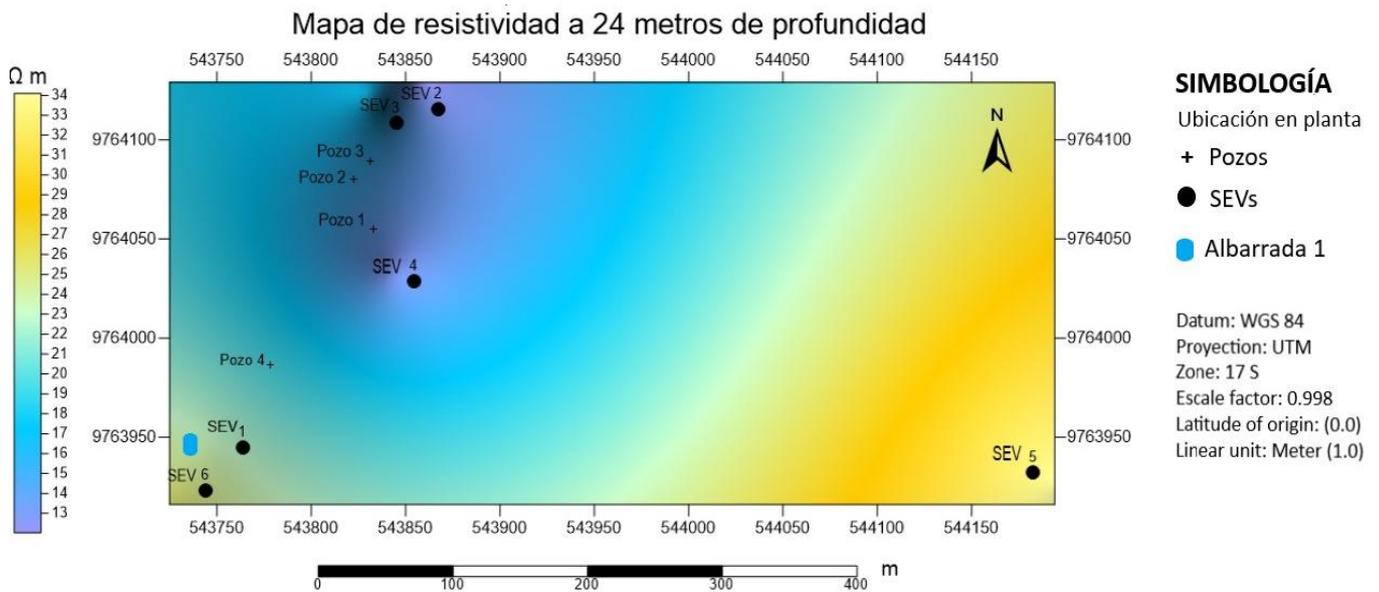


Figura 3.32 Mapa de resistividad a 24 metros de profundidad

Tabla 3.18 Descripción mapa de resistividad a 24 m de profundidad

Resistividad (Ωm)	Descripción
13 a 34	Arcillas, arenas y/o gravas saturadas

3.12 Mapa de zonas potenciales

En la Figura 3.33 se muestra el mapa de la zona potencial a explotación con una propuesta de pozos de agua en caso que los comuneros requieran cerrar los pozos con peor calidad, ya que esta zona muestra una mejora en las propiedades físicas y químicas del agua para actividades de ganadería en la comuna. Los SEVs y el perfil de flujo subterráneo indica que en esta zona el agua de la albarrada 1 se está infiltrando para así disminuir la salinidad que existe en los pozos mas cercanos, además esta zona se encuentra influenciada por el Río “La Aguadita” que en épocas invernales ayuda a la recarga de la Albarrada.

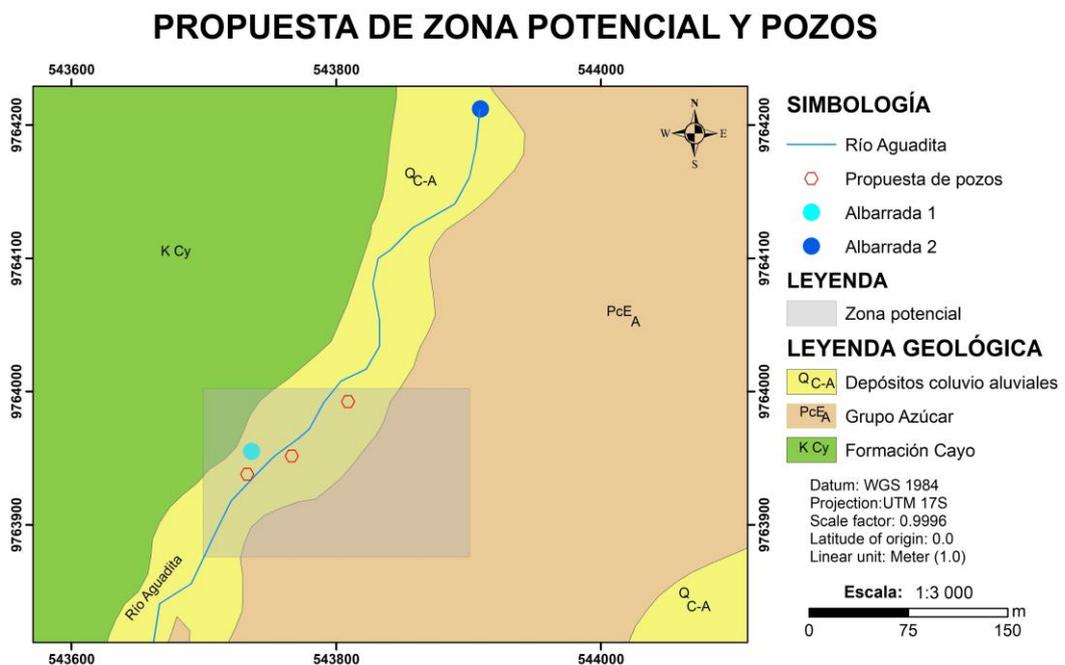


Figura 3.33 Propuesta de zona potencial y pozos

3.13 Directrices para un plan de abastecimiento sostenible

Las directrices propuestas son guías iniciales para mejorar el uso y el control de los pozos. Un plan de abastecimiento completo requiere un estudio mayor de la hidrodinámica, demanda del recurso, economía del sector, entre otros.

En las directrices presentadas a continuación, se consideró las interpretaciones de la exploración geoelectrica y los distintos parámetros hidrogeológicos analizados en el presente trabajo.

1. Actualizar mensualmente la base de datos del inventario de pozos con la medición de los parámetros físicoquímicos y nivel estático.
2. Construir tapas de cemento para los pozos existentes con el fin de evitar la entrada de plástico u otro tipo de basura que afecte a la calidad del agua.
3. Según la organización Mary River Catchment Coordinating Committee (MRCCC) el agua para consumo humano debe ser menor a 2.5 mS/cm. El pozo 4 posee valores entre 2.0 y 3.08 mS/cm mientras que los demás pozos exceden a este valor. Entonces este pozo es el de mejor calidad para el ganado y de ser necesario puede ser utilizado para el aseo personal mas no para el consumo humano.
4. Mediante el uso de un filtro de purificación de agua la comuna puede tener agua potable en caso de emergencia, en especial en épocas invernales, que por el mal estado de la carretera se puede dificultar el acceso de agua por tanqueros. Este filtro puede ser usado en el pozo de mejor calidad, es decir en el 4.

CAPÍTULO 4

4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El balance hídrico de la microcuenca del Río Javita se lo realizó para el periodo 1990 – 2014, lo que muestra una precipitación anual de 250 mm, evapotranspiración potencial de 1412.2 mm y un déficit anual de 1162.2 mm. Esto indica que las entradas de agua por precipitación son en teoría evapotranspirada, haciendo la agricultura insostenible sin riego asistido.
- Se registró 7 puntos de agua en el área de estudio, 5 pozos y 2 albarradas. Los parámetros fisicoquímicos del agua de los pozos indican un contenido de sal de 1 – 6 g/l, y TDS varía entre 3 – 10 g/l. Según la OMS valores que superen 0.5 g/l en contenido de sal y 1.2 g/l en TDS, clasifica al agua como salobre y no recomendable para el consumo humano.
- Según la organización MRCCC, menciona que el agua para consumo de aves y cerdos debe tener una conductividad eléctrica menor a 6 mS/cm y para el resto del ganado debe ser menor a 10 mS/cm. El agua de los pozos 2, 3, 4 y 5 posee valores de conductividad de 3 a 5.5 mS/m, por lo tanto, esta agua es apta para el consumo del ganado, mientras que el agua del pozo 1 es de 10.46 mS/cm, considerada inaceptable.
- El diagrama de red de flujo y el mapa de isopiezas se lo realizó con los datos del cabezal hidráulico del mes de diciembre de los pozos 1 al 4 y la albarrada 1, permitiendo estimar la superficie freática del acuífero libre y de indicar que el área es una zona de recarga. La dirección de este flujo subterráneo apoya la idea de una influencia del agua de la albarrada 1 hacia el pozo 4, mejorando su calidad del agua.
- Mediante el levantamiento litológico y los SEVs se identificó que la capa saturada de agua contiene gravas y arenas pertenecientes al Grupo Azúcar. Esta capa se la encuentra a una profundidad aproximada de 3

metros con resistividades entre los 12 a 36 Ω m, esto corresponde a un acuífero libre.

- Se realizaron talleres participativos con la directiva de la comuna del periodo 2021-2022. Los talleres contaron con una componente práctica, que se aprovechó para indicar sobre el uso del equipo durante la medición del nivel estático y parámetros fisicoquímicos, con la intención que asuman la responsabilidad de alimentar la base de datos de los pozos que servirán para el control de la dinámica del agua y para futuros proyectos en la zona.

4.2 Recomendaciones

- Elaborar un balance hídrico en periodos de secuencia húmeda (1970 – 1976 y 1996 – 1999) y balances por cada año para analizar el comportamiento de las entradas y salidas de agua, con el objetivo de evaluar posibles excedentes y reservas.
- Efectuar un estudio hidrogeológico en el sector durante la época de lluvia, para comparar los niveles freáticos en los pozos y la interacción con el río intermitente “La Aguadita”.
- Realizar una exploración a mayor profundidad mediante SEVs, tomografías eléctricas y sísmica de refracción en la zona norte de la comuna para observar el flujo de agua y la extensión del acuífero.
- Efectuar un estudio geoquímico del agua de los pozos para investigar las características de elementos contaminantes y proponer estrategias de remediación, además con este estudio se logra determinar la procedencia del agua subterránea.
- Se recomienda realizar charlas didácticas y educativas para los niños de la comuna, con el objetivo que despierten el interés sobre el mantenimiento y cuidado de los pozos, esto debido a la curiosidad que mostraban durante los talleres participativos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiló, M., Albaladejo, J., Aramburu, M., Carrasco, R., Castillo, V., Ceñal, M., . . . Valero, F. (2014). Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. En *Agua* (Cuarta ed.). Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar (ETSI de Montes).
- Allende, T., & Mendoza, M. (2007). Análisis Hidrometeorológico de las Estaciones de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. *Investigaciones Geográficas*(63), 56-76.
- AQUASTAT. (2018). Recuperado el 10 de octubre de 2021, de Water use: <http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>
- Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Barón, Alfredo & Guardiola-Albert, Carolina. (2016). Normas para la construcción y clausura de pozos propuestas por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos.
- Benítez, S. (1991). Las cuencas cretácicas del Ecuador y cuadros de distribución estratigráfica: VI Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petróleos, Guayaquil, Ecuador
- Benítez, S. (1995). Evolution géodynamique de la province cotière sud-équatorienne au Crétacé supérieur Tertiaire. *Géologie Alpine* 71, p. 5-163.
- Boggiano, M. (24 de Noviembre de 2019). *Carta Financiera*. Obtenido de Los 10 Países con Mayores Reservas de Agua Dulce: <https://www.cartafinanciera.com/los-10-paises-con-mayores-reservas-de-agua-dulce/>
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador*. Quito: Unidad de Estudios e Investigaciones de Hidrología del INAMHI.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., . . . Wiberg, D. (2016). *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).

- Cabrera, H., Garcés, M., & Paredes, P. (2012). Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador. 45-49.
- Campoverde, C., & Fajardo, G., (2018). Contribución de la geología aplicada para la mejora en el diseño de un dique en la subcuenca del río Manglaralto, provincia de Santa Elena. Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec>.
- Colman, J. (1970). *Guidebook to the Geology of the Santa Elena Península*. Ecuadorian geol. and geophys. Soc.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). Hidrología Subterránea. Barcelona: Ediciones Omega S. A.
- Ego, F., Sébrier, M., Lavenue, A., Yepes, H., & Eguez, A. (1996). Quaternary State of Stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 259: 101-116.
- Feininger, T. C., & Bristow, C. R. (1980). Cretaceous and Paleogene history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*, 69: 849-874
- Francois, J., Navarrete, E., & Martillo, C. (2010). *Observatorio del Litoral Ecuatoriano*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- García, D. (2008). *Si el Agua es la Nueva Constitución*. Foro de los Recursos Hídricos de Pichincha.
- GeoSpatial, (2022). Imágenes satelitales ALOS PALSAR. Recuperado de: <https://www.geospatial.com.co/imagenes-de-satelite/alos-palsar.html>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Colonche. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Colonche.
- Granizo, A. (2015). Las limitaciones no borran la sonrisa de los pobladores de la Aguadita. Página digital. El Telégrafo. Recuperado de: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/zoo/1/las-limitaciones-no-borran-la-sonrisa-de-los-pobladores-de-la-aguadita>
- Gutscher, M., Malavieille, J., & Collot, J. (1999). Tectonic Segmentation of the North Andean Margin: Impact of the Carnegie Ridge Collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168: 255-270.

- INOCAR. (2020). *Datos Meteorológicos de la Red INOCAR*. Obtenido de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/estaciones-meteorologicas>
- Instituto Geográfico Militar. (2020). Cartografía de libre acceso a escala 50k. Recuperado de: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Instituto Tecnológico Geominero de España. (1995). *Conoce las Aguas Subterráneas*. España.
- Jaillard, E., Ordonez, M., Benítez, 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. *Petroleum basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists. Memoir, 62: 615-631
- Lallemand, S. (1999). *La Subduction Océanique*. Gordon and Breach Science Publishers.
- López, J., & Gómez, J. (2007). La Intrusión Marina y su Incidencia en los Acuíferos Españoles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 266-273.
- López, M. (2016). Análisis Estructural de la Cuenca Progreso-Secuencias Paleógenas. [Proyecto de Grado]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- MARKSTEINER, R., & ALEMÁN, A. (1991). Coastal Ecuador, technical evaluation agreement: Unpublished internal report, Amoco Production Company y PetroEcuador, v. 1, 218 p.
- MRCC (2013). Water-Quality-Salinity-Standards. Recuperado de: <https://mrccc.org.au/wp-content/uploads/2013/10/Water-Quality-Salinity-Standards.pdf>.
- Ministerio del Ambiente. (2001). *Cambios Climáticos*. Quito: Gráficas Iberia.
- Mora, C., Parra, P., Blanco, Y., 2007, Evaluación de los Sistemas Petrolíferos de las Cuencas del Suroeste del Litoral Ecuatoriano, Informe Final: Bogotá, EP. Petroecuador, 88 p.

- Neira, W. (2021). Acercamiento con la Comuna Aguadita. (F. Cano Alvarado, & L. Sanango Ochoa, Entrevistadores)
- Núñez del Arco, E. (2003). Geología del Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de: <https://fdocuments.ec/document/libro-geologia-del-ecuador-por-ing-nunez-del-arco.html>.
- OMM. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Suiza: Publications Board. Obtenido de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/11/GlosarioHidrologicoInternacional.pdf>.
- Ramos, L. (2012). *Hidrología e Hidrogeología*. Salamanca: Universidad de Salamanca
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2018). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Quito SENPLADES.
- SNI. (2013). Sistema Nacional de Información. www.sni.gob.ec
- UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, por sus siglas en inglés), Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura. París: Lucart Estudio S.A.
- UNESCO. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*. México: Lucart Estudio S.A.
- University of East Anglia. (2021). Climatic Research Unit - Groups and Centres - UEA. Recuperado de: <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit>
- Vélez, M. (1999). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

ANEXOS

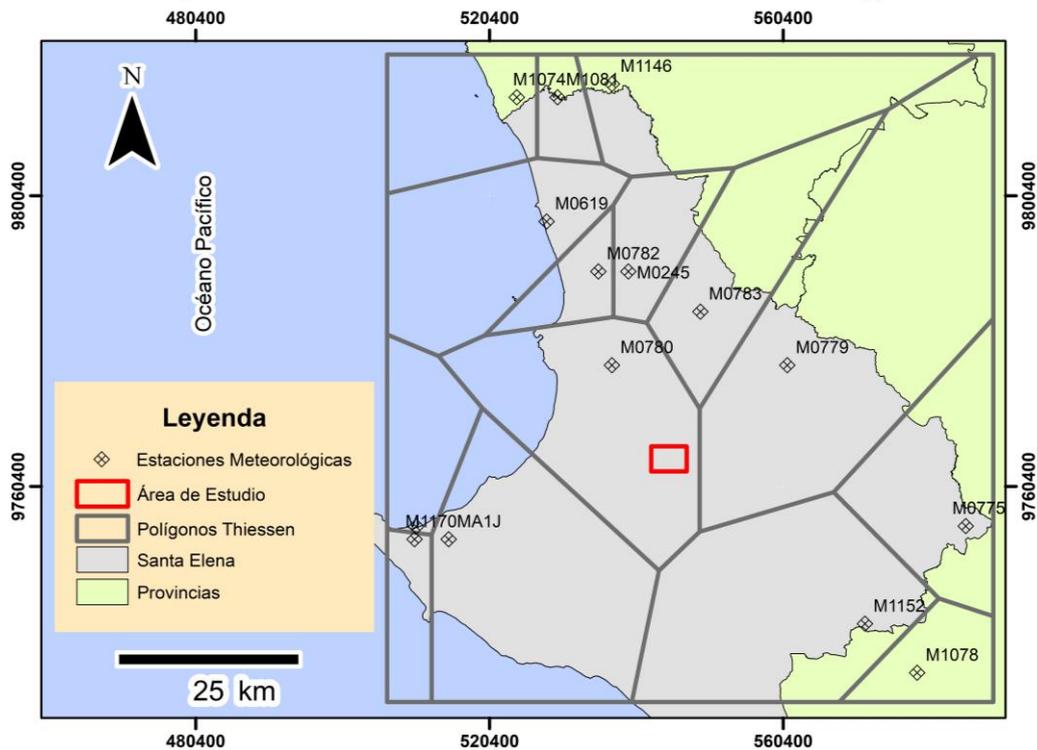
Acercamiento con los comuneros de “La Aguadita”



Anexo 1. Socialización con los directivos de la comuna y comuneros

Análisis multitemporal

Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas



Anexo 2. Mapa de polígono de Thiessen de las estaciones meteorológicas de Santa Elena

Año	Temperatura anual °C	Precipitación (mm)	Evapotranspiración real (mm)
1961	23.4	382.3	389.6
1962	23.4	346.9	355.6
1963	23.2	147.5	154.7
1964	23	351.5	359.5
1965	24.2	378.1	386.9
1966	23.5	327.5	336.8
1967	23.1	847.6	766.8
1968	22.9	169.3	177.2
1969	24.3	339.6	349.6
1970	23.4	838.7	764.9
1971	23.4	623.1	603.3
1972	23.4	1237.6	991.5
1973	23.4	1057.4	900
1974	23.4	347.7	356.4
1975	23.4	861.8	780.5
1976	23.4	727.8	685.4
1977	23.4	326.4	335.6
1978	23.4	329.3	338.5
1979	23.4	354	362.5
1980	23.4	300.9	310.5
1981	23.4	346.7	355.4
1982	23.4	221.3	230.6
1983	23.4	1340	1036.5
1984	23.4	379.1	386.6
1985	23.4	159.5	167.1
1986	23.4	226.5	235.9
1987	23.4	588	574.2
1988	23.4	353.5	362
1989	23.4	771.9	717.9
1990	23.4	207.2	216.2
1991	23.4	294.7	304.4
1992	23.4	923.1	820.4
1993	23.4	356.6	365
1994	23.4	332.4	341.5
1995	23.4	321.9	331.2
1996	23.4	207	216
1997	23.4	1293.6	1016.7
1998	23.4	2917.3	1366.7
1999	23.4	315.7	325.1
2000	23.4	92.3	97.1
2001	23.4	321.3	330.6
2002	23.4	982.5	856.9
2003	23.4	404.2	410.4
2004	23.4	160	167.6
2005	23.4	154	161.4
2006	23.4	291.7	301.4
2007	23.4	482.1	482.1
2008	23.4	491.8	490.8
2009	23.4	201.7	210.6
2010	23.8	250.5	260.4
2011	24.2	246.1	355.8
2012	23.3	591.6	576.7
2013	24	385.2	393.4

Anexo 3. Datos de temperatura y precipitaciones anuales de la estación Manglaralto otorgados por el INAHMI, y evapotranspiración real calculada por la ecuación de Turc.

Año	Precipitación anual (mm)	Precipitación media (1961 - 2013)	Desviación Simple	Desviación Acumulada
1961	382.3	507.7	-125.4	-125.4
1962	346.9	507.7	-160.8	-286.1
1963	147.5	507.7	-360.2	-646.3
1964	351.5	507.7	-156.2	-802.4
1965	378.1	507.7	-129.6	-932.0
1966	327.5	507.7	-180.2	-1112.2
1967	847.6	507.7	339.9	-772.2
1968	169.3	507.7	-338.4	-1110.6
1969	339.6	507.7	-168.1	-1278.6
1970	838.7	507.7	331.0	-947.6
1971	623.1	507.7	115.4	-832.2
1972	1237.6	507.7	729.9	-102.2
1973	1057.4	507.7	549.7	447.5
1974	347.7	507.7	-160.0	287.6
1975	861.8	507.7	354.1	641.7
1976	727.8	507.7	220.1	861.8
1977	326.4	507.7	-181.3	680.6
1978	329.3	507.7	-178.4	502.2
1979	354	507.7	-153.7	348.6
1980	300.9	507.7	-206.8	141.8
1981	346.7	507.7	-161.0	-19.2
1982	221.3	507.7	-286.4	-305.5
1983	1340	507.7	832.3	526.8
1984	379.1	507.7	-128.6	398.3
1985	159.5	507.7	-348.2	50.1
1986	226.5	507.7	-281.2	-231.1
1987	588	507.7	80.3	-150.7
1988	353.5	507.7	-154.2	-304.9
1989	771.9	507.7	264.2	-40.7
1990	207.2	507.7	-300.5	-341.1
1991	294.7	507.7	-213.0	-554.1
1992	923.1	507.7	415.4	-138.6
1993	356.6	507.7	-151.1	-289.7
1994	332.4	507.7	-175.3	-465.0
1995	321.9	507.7	-185.8	-650.7
1996	207	507.7	-300.7	-951.4
1997	1293.6	507.7	785.9	-165.4
1998	2917.3	507.7	2409.6	2244.2
1999	315.7	507.7	-192.0	2052.2
2000	92.3	507.7	-415.4	1636.9
2001	321.3	507.7	-186.4	1450.5
2002	982.5	507.7	474.8	1925.4
2003	404.2	507.7	-103.5	1821.9
2004	160	507.7	-347.7	1474.2
2005	154	507.7	-353.7	1120.6
2006	291.7	507.7	-216.0	904.6
2007	482.1	507.7	-25.6	879.1
2008	491.8	507.7	-15.9	863.2
2009	201.7	507.7	-306.0	557.2
2010	250.5	507.7	-257.2	300.1
2011	246.1	507.7	-261.6	38.5
2012	591.6	507.7	83.9	122.5
2013	385.2	507.7	-122.5	0.0

Anexo 4. Tabla de precipitación acumulada, para determinación de periodos húmedos y secos.

Cálculo del balance hídrico

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	26.5	26.5	26.9	26.8	26	25	23.6	23.4	24	24.1	25	25.6
1991	25.9	26.9	27.4	26.8	26.3	25.4	23.9	23.2	23.8	24.2	24.6	25.9
1992	27	27.2	27.8	27.9	27.1	25.3	23.5	23.4	23.6	24.2	24.3	25.1
1993	26.2	26.6	26.7	27	26.5	25.5	24.4	24.1	24.2	24.1	24.2	25.3
1994	25.9	26.5	26.4	26.4	25.8	24.5	23.4	23.1	24	24.5	24.7	25.8
1995	26.9	26.9	26.9	26.8	25.8	25.3	24.2	23.7	24.3	24.4	24.3	25
1996	25.6	26.3	26.8	26	25.2	23.7	22.8	23.3	23.6	23.3	24.5	25.1
1997	26	26.3	27	27.5	27.5	26.7	25.2	24.8	25.2	25.4	25.5	26.8
1998	27.5	27.7	28.2	28.4	27.4	26.3	25.1	24.2	24.1	24.4	24.8	25.4
1999	26	26.5	27.1	26.2	25	24	22.7	23.2	23.5	23.6	23.9	24.8
2000	25.5	26	26.2	26.2	25	24	23.1	23.5	23.3	24.4	24	25.1
2001	26.4	27.1	26.6	26.5	24.6	23.2	23.1	23.2	23	23.6	24.1	25.1
2002	25.9	27.1	27.4	27.3	26.3	24.2	23.4	23.7	24.1	24.6	25	26.1
2003	27	27.1	26.6	26.4	25.3	24.4	23.8	23.1	23.5	24.5	24.7	25.7
2004	26.6	27.2	27.7	26.8	25.1	23.8	23.2	23.2	23.7	24.9	24.8	26
2005	26.8	26.8	26.8	26.9	25.6	24.5	23.6	23.7	23.5	23.5	23.4	25.2
2006	26.3	27.1	26.8	26.1	25.3	24.6	24.3	24.1	23.6	24	24.9	25.6
2007	27.2	26.5	26.6	26.3	24.6	23.3	23	22.5	22.9	23	23.6	24.4
2008	26	26.7	27.1	26.1	24.7	24.3	24.1	24.1	24.1	24	24	25.1
2009	25.9	26.5	26.2	27.2	25.9	25.1	24.6	24.4	24.3	24.4	24.9	26.1
2010	27.2	27.3	27.4	27.1	26	24.5	23.4	23.2	23.4	23.6	23.6	24.4
2011	25.6	26.2	26.1	26.5	25.9	25.3	23.8	23.7	23.5	23.3	24.1	25.1
2012	25.7	25.7	26.7	27	26.1	25.6	24.5	23.9	24.1	24.1	24.6	25.1
2013	26.2	26.5	26.3	25.6	25.1	23.9	23	23.1	23.7	23.8	24.3	25.5
2014	26.5	26.5	26.6	26.3	26.6	25.9	24.4	23.9	24.2	24.5	24.7	25.6
Temperatura Media	26.3	26.7	26.9	26.7	25.8	24.7	23.8	23.6	23.8	24.1	24.4	25.4

Anexo 5. Datos de temperatura recopilados de la capa de isoterma del Google Earth

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990				9.2	0	0	0	2.4	1	2	0	0
1991	16.4	159.6	7.4	1.1	0.3	0.4	1	3	0	4.1	0	1.1
1992	2.5	30.5	233.5	271.1	12.1	4.1	0.5	1	0	1.5	3.1	0
1993	14.2	199.8	90.2	6.8	3.2							
1994												
1995	14.7	56.2	9.9	0	13.5	0	0	2.2	3.1	11.6	5.3	2
1996	14.5	43.2	27.5	4.7	12.7	7.2	9.2	2	0	3.5	6.4	5.2
1997												
1998												
1999	14.3	168.2	36	36.8	15	11.4	7.5	17.5	0	7.7	10.1	7.2
2000												
2001												
2002												
2003	38.1	95.8	34.3	44.6	27.4	0	4.8	0	0	0	0	0
2004	21.1	59.5	4.6	5.9	16	0	0	2.9	0.9	0	0	0.1
2005	0	33	9.5	19.1	0	0	0	0	0.8	0.8	0	0
2006	28.3	86.6	17.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	35.4	0	60.4	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0
2008	156.5	185.9	37.8	6.7	0	0						
2009												
2010	42	63	9.1	95.6	106.1	0	7.5	1.5	0	19.3	9.3	20.8
2011	21.9	30.4	0	63.4	0	2.7	2.5	8.9	1.9	3.5	0	0.8
2012	217.5	124.5	101.3	48.5	7	0	0.5	0.9	5.1	2.3	5.9	4.2
2013	68	134.6	221.2	0	0	13.8	0	0	0	11.7	4.2	0
2014	71.5	34.8	4	3.6	5.7	0.2	4.1	3.4	10	7.9	0.5	2.5

Anexo 6. Datos de precipitación de la estación Colonche recopilados de los anuarios meteorológicos del INAMHI (espacios pintados son los datos ausentes en los anuarios)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	27.9	31.4	25.8	16.2	2.6	17.1	10.9	12.7	8	10.6	7.5	10.4
1991	14.6	124.8	0	3.6	8.6	2.1	12.3	18.8	7	6.2	8.5	12.3
1992												
1993	41.8	146.3	92.1	23.3	6.9	21.6	7.8	7.6	4.2	11.8	17.5	8.3
1994	43.6	84	230.4	14.1	12.6	13.8	7.3	8.2	0.2	101.5	3	26.1
1995	57.5	163.8	8.9	44.9	7.7	7.4	44.1	25.5	9.3	24.1	5.9	0
1996	92.9	102.1	92.1	5.3	24	19.5	12.5	9.1	9.2	17.2		
1997												
1998												
1999	11.9	220.3	32	34.1	14	13.4	20.1	5.7	25	21.2	9.2	5.5
2000	27.4	80.9	29.3	19.4	40.5	17.6	11.2	6	7.5	7.3	2.4	0
2001												
2002												
2003	34.1	118.7	14.4	52.2	26.7	8.2	25.2	24.4	5.7	29.4	2.8	16.6
2004	8.5	66.8	5.3	69.4	21.7	5.4	31.3	10.6	16.7	28.4	10.2	0.6
2005	0.9	57.7	21.6	52.9	0	2.5	7.7	7.4	12	38.2	19.7	4.3
2006	73	273.6	41.4	3.6	5.9	5.7	9.4	9.2	9.7	6.2	8.4	1.6
2007	32.2	20.3	67.5	25	10.1	20.8	37.8	13.9	6.5	39.8	11.5	8.5
2008	195.3	143.2	93.6	7	9.9	4.1						
2009							3.1	16.8	9.5	22.1	11.6	5.1
2010	67	157.4	33.9	82	11.2	12.4	18.2	21.7	17.6	14.5	17.1	69.6
2011	55.8	56.2	0	142.3	0	6.4	27.7	20.1	5	14.4	0.6	14.4
2012	81.5	120.4	75.6	14.4	3.4	61.9	3.1	16.8	12.8	16.2	1.4	9.3
2013	142.8	101.7	141.1	13.5	5.9	24.6	17	10.8	9.5	26	8.4	0.4
2014	73.9	70.2	11	8.5	7.5	5.4	13.1	26.9	26.3	21.5	5.5	3.9
2015	14.1	16	100.6	149.4	14.7	8.4	17.9	7.2	8.6	4.7	13	11.5
2016	83.6	177.6	51.6	64.2								
2017				119.4	70.6	53.5	22.2	18.2	11.7	22.2	15.1	6.9
2018	27.9	280.5		1.5								

Anexo 7. Tabla de datos de precipitación de la estación El Suspiro, que permitió completar los datos de la estación Colonche. Datos otorgados por el INAMHI

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	15.9		17.84	9.2	0	0	0	2.4	1	2	0	0
1991	16.4	159.6	7.4	1.1	0.3	0.4	1	3	0	4.1	0	1.1
1992	2.5	30.5	233.5	271.1	12.1	4.1	0.5	1	0	1.5	3.1	0
1993	14.2	199.8	90.2	6.8	3.2	4	0	0	0	0	0	0
1994	15.5	90.8	17.65	0	9.74	1.4	0.3	1	0		3.1	0
1995	14.7	56.2	9.9	0	13.5	0	0	2.2	3.1	11.6	5.3	2
1996	14.5	43.2	27.5	4.7	12.7	7.2	9.2	2	0	3.5	6.4	5.2
1997												
1998												
1999	14.3	168.2	36	36.8	15	11.4	7.5	17.5	0	7.7	10.1	7.2
2000	24.4	47.3	22.6	6.6	37.8	1.6	3.9	0.7	0.1	0.0	0.6	0.0
2001												
2002												
2003	38.1	95.8	34.3	44.6	27.4	0	4.8	0	0	0	0	0
2004	21.1	59.5	4.6	5.9	16	0	0	2.9	0.9	0	0	0.1
2005	0	33	9.5	19.1	0	0	0	0	0.8	0.8	0	0
2006	28.3	86.6	17.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	35.4	0	60.4	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0
2008	156.5	185.9	37.8	6.7	0	0	8.8	13.8				
2009	176.5	184.9	35	8.7			8.9	8.7	1.7	10.8	3.1	1.4
2010	42	63	9.1	95.6	106.1	0	7.5	1.5	0	19.3	9.3	20.8
2011	21.9	30.4	0	63.4	0	2.7	2.5	8.9	1.9	3.5	0	0.8
2012	217.5	124.5	101.3	48.5	7	0	0.5	0.9	5.1	2.3	5.9	4.2
2013	68	134.6	221.2	0	0	13.8	0	0	0	11.7	4.2	0
2014	71.5	34.8	4	3.6	5.7	0.2	4.1	3.4	10	7.9	0.5	2.5
Precipitación Media	48.1	91.4	47.5	30.1	13.3	2.3	2.8	3.3	1.2	4.6	3.0	2.3

Anexo 8. Datos de precipitación de la estación Colonche, complementación de datos con la estación El Suspiro, por medio de regresión lineal.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura	26.3	26.7	26.9	26.7	25.8	24.7	23.8	23.6	23.8	24.1	24.4	25.4
i	12.4	12.6	12.8	12.6	12.0	11.3	10.6	10.5	10.6	10.8	11.0	11.7
ETP sin corr	132.3	138.7	141.8	138.9	123.5	107.6	94.3	92.0	94.9	98.7	103.1	117.4
nºdías mes	31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0
nº horas luz	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
ETP corr.	137.9	130.5	147.8	140.1	128.7	108.5	98.2	95.8	95.6	102.8	104.0	122.3

Anexo 9. Tabla de datos y resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial

Nivel estático de los pozos en m					
P1	P2	P3	P4	P5	Profundidad media
1	0.6	0.72	1.27	2	1.12
DATOS		CÁLCULOS			
Densidad del suelo (g/cm3):	1.2	Volumen de la cuenca (m3)	183597960	Masa de la cuenca (kg)	2.20E+11
Área de a subcuenca en km2:	164.22	Masa de capacidad de campo sobre área de la cuenca (kg/m2)		344.79	
Porcentaje de Capacidad de Campo según Litología en %	25.7	Capacidad de campo (mm)	344.79 mm		

Anexo 10. Tabla de datos y resultados del cálculo de la capacidad máxima de campo

Registro fotográfico de los pozos



Anexo 11. Foto del pozo 1



Anexo 12. Foto del pozo 2



Anexo 13. Foto del pozo 3



Anexo 14. Foto del pozo 4



Anexo 15. Foto del pozo 5

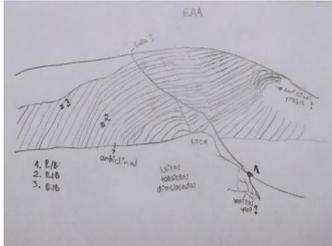
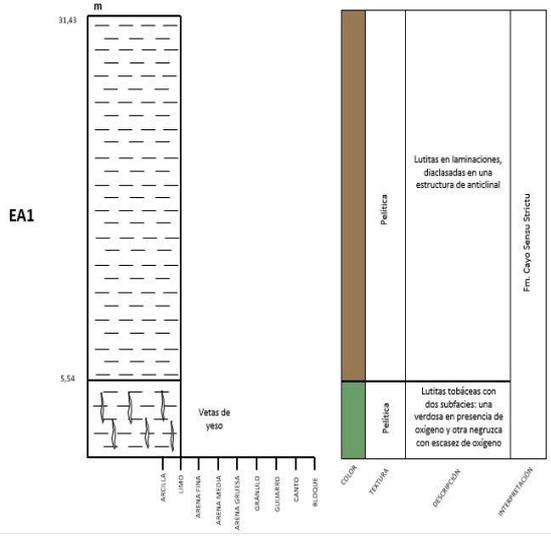


Anexo 16. Foto de la albarrada 1

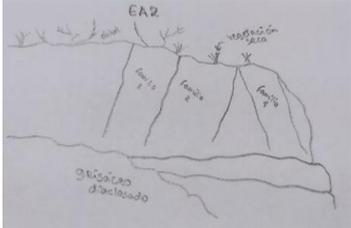
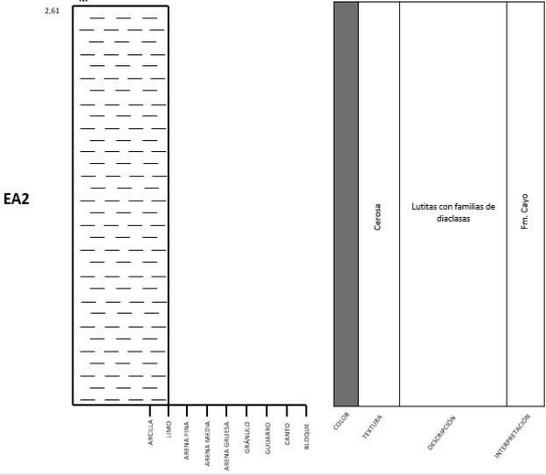


Anexo 17. Foto de la albarrada 2

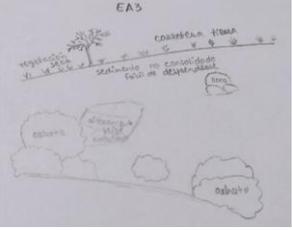
Fichas de registro de afloramientos

FICHA REGISTRO DE AFLORAMIENTO					
Información General					
Sección N°	EA1	Coordenadas	543715 E 9763956 N	Fotografía 	
Hora	11:46	WGS 1984 UTM Zona 17 S			
Fecha	27/11/2021	Lugar	Frente al estanque para consumo de los animales		
Responsable	Luis Sanango y Favio Cano				
Descripción Macro					
Bosquejo Afloramiento	Unidad Estratigráfica	A	B		
	Color	Verde grisáceas	Pardo grisáceo		
	Contacto	No presenta	No presenta		
	Potencia	5,54 metros	25,89 metros		
	Rumbo	N232°	N295°, N319°		
	Buzamiento	65°/S38°E	56°/S25°W, 46°/S49°W		
	Diaclasas	N38°, 67°/S7°E	-		
Descripción Meso					
Bosquejo Columna	Unidad Estratigráfica	A	B		
	Color	Verde grisáceo	Pardo Grisáceo		
	Tamaño del grano	Muy fino	Fino		
	Textura	Clástica	Pelítica		
	Redondez	-	-		
	Matriz soportada o Clasto soportado	-	-		
	Gradación	-	-		
	Litología				
	Matriz	Lutita Tobácea	Lutita		
	Clastos	-	-		
	Meteorización	Se observa una facie negra posiblemente carbón (lutita bituminosa)	Presente		
Observaciones					
<p>En la parte superior del afloramiento se observa un anticlinal en turbidita que se considera la megaturbidita del tope del miembro Cayo Senu Strictu. La roca de la sección B se encuentra laminada de espesores decrecientes desde aproximadamente 10 cm. Se observa una falla normal y otras pequeñas a los alrededores. Posible presencia de alto grado de zeolitas verdosas.</p>					

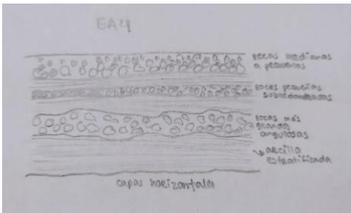
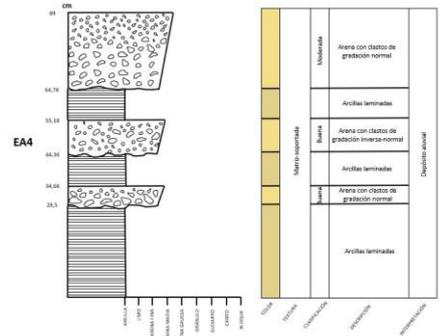
Anexo 18. Ficha de descripción estación EA1

FICHA REGISTRO DE AFLORAMIENTO					
Información General					
Sección N°	EA2	Coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17 S	543806 E 9764099 N	Fotografía 	
Hora	12:06				
Fecha	27/11/2021	Lugar	Detrás del pozo artesanal antiguo		
Responsable	Luis Sanango y Favio Cano				
Descripción Meso					
Bosquejo Afloramiento	Unidad Estratigráfica	A			
	Color	Grisáceo a negro			
	Contacto	No presenta			
	Potencia	2,61 metros			
	Rumbo	N245°			
	Buzamiento	76°/S25°E			
	Diaclasas (Rumbo, Buzamiento)	DA2_1	DA2_2		
		N328° 72°/S58°W	N343° 49°/N73°E		
Descripción Micro					
Bosquejo Columna	Unidad Estratigráfica	A			
	Color	Grisáceo a negro			
	Tamaño del grano	Fino a muy fino			
	Textura	Cerosa			
	Redondez	-			
	Matriz soportada o Clasto soportado	No se observan clastos			
	Gradación	-			
	Litología				
	Matriz	Lutita			
	Clastos	-			
	Meteorización	No se observa			
Observaciones					
Presencia de vegetación seca en la parte superior del afloramiento. Se observan familias de diaclasas. La roca masiva es cerosa de color negra.					

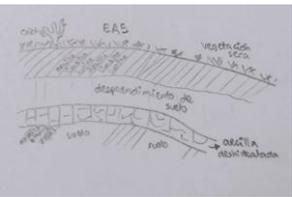
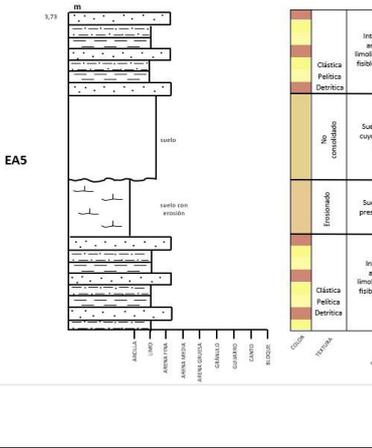
Anexo 19. Ficha de descripción estación EA2

FICHA REGISTRO DE AFLORAMIENTO				
Información General				
Sección N°	EA3	Coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17 S	543869 E 9764098 N	Fotografía 
Hora	12:25			
Fecha	27/11/2021	Lugar	Barranco junto a la vía de acceso Calicante-Aguadita	
Responsable	Luis Sanango y Favio Cano			
Descripción Macro				
Bosquejo Afloramiento	Unidad Estratigráfica	A		
	Color	Beige amarillento		
	Contacto	No presenta		
	Potencia	9,31 metros		
	Rumbo	N26°		
	Buzamiento	S64°E		
	Diaclasas	No presenta		
Descripción Meso				
Bosquejo Columna	Unidad Estratigráfica	A		
No hay información suficiente. Afloramiento masivo sin estratificación	Color	Amarillo beige		
	Tamaño del grano	Medio a fino		
	Textura	Arenosa		
	Redondez	No se observan		
	Matriz soportada o Clasto soportado	Matriz soportada		
	Gradación	No se observa		
	Litología			
	Matriz	Arenisca de grano medio a fino		
	Clastos	No se observa		
	Meteorización	Presente en sedimentos sueltos		
Observaciones				
Afloramiento perteneciente a la Formación Azúcar por las características de sus areniscas de color amarillo beige de grano medio a fino.				

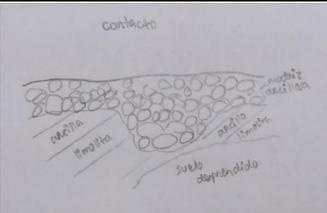
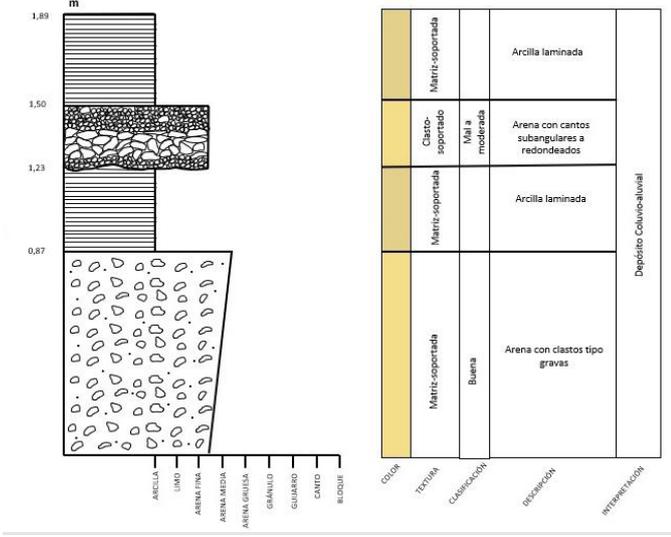
Anexo 20. Ficha de descripción estación EA3

FICHA REGISTRO DE AFLORAMIENTO								
Información General								
Sección N°	EA4	Coordenada WGS 1984	543853 E	Fotografía 				
Hora	12:35	UTM Zona 17 S	9764052 N					
Fecha	27/11/2021	Lugar	Frente al afloramiento EA3, junto al río intermitente					
Responsable	Favio Cano y Luis Sanango							
Descripción Macro								
Bosquejo Afloramiento	Unidad Estratigráfica	A	B	C	D	E	F	
	Color	Beige marrón	Beige	Beige marrón	Beige	Beige marrón	Beige	
	Contacto	Erosivo	Erosivo	Erosivo	Erosivo	Erosivo	Erosivo	
	Potencia	28,5 cm	6,17 cm	9,7 cm	10,82 cm	9,6 cm	23,82 cm	
	Rumbo	-	-	-	-	-	-	
	Buzamiento	-	-	-	-	-	-	
	Diaclasas	NP	NP	NP	NP	NP	NP	
Descripción Meso								
Bosquejo Columna	Unidad Estratigráfica	A	B	C	D	E	F	
	Color	Beige marrón	Beige	Beige marrón	Beige	Beige marrón	Beige	
	Tamaño del grano	Fino	Fino	Fino	Fino	Fino	Fino	
	Redondez de clastos	-	Subangular	-	Subangular a subredondeadas	-	Subangular	
	Matriz soportada o Clasto soportado	Matriz	Matriz	Matriz	Clasto	Matriz	Matriz	
	Gradación	-	normal	-	Inversa-normal	-	normal	
	Litología							
	Matriz	Arcilla						
	Clastos	-	Presente	-	Presente	-	Presente	
	Meteorización	Presente						
	Observaciones							
Se observan laminaciones en las capas horizontales de arcilla. Los clastos posiblemente son gravillas. La capa más joven pertenece al aluvial y el resto son intercalaciones de arenas, conglomerados y limos del miembro Azúcar.								

Anexo 21. Ficha de descripción estación EA4

FICHA REGISTRO DE AFLORAMIENTO					
Información General					
Sección N°	EA5	Coordenadas WGS 1984 UTM	544345 E 9765573 N	Fotografía	
Hora	13:17	Zona 17 S			
Fecha	27/11/2021	Lugar	Junto al sendero a un lado de la vía hacia el norte de "La Aguadita"		
Responsable	Favio Cano y Luis Sanango				
Descripción Macro					
Bosquejo Afloramiento	Unidad Estratigráfica	A			
	Color	Pardo rojizo			
	Contacto	No presenta			
	Potencia	3,73 metros			
	Rumbo	N228°			
	Buzamiento	45°/N42°W			
	Diaclasas	No presenta			
Descripción Meso					
Bosquejo Columna	Unidad Estratigráfica	A	B	C	
	Color	Pardo rojiza	Blanco amarillentas	Amarillentas	
	Tamaño del grano	Fino a medio	Muy fino	Fino	
	Textura	Detrítica	Pelítica	Detrítica	
	Redondez	-	-	-	
	Matriz soportada o Clasto soportado	-	-	-	
	Gradación	-	-	-	
	Litología				
	Matriz	Arenisca	Lutita	Limolita	
	Clastos	Presente	-	-	
	Meteorización	Alta meteorización de las capas			
Observaciones					
Las intercalaciones de las capas se observan estratificadas y con mucha fisibilidad. Presencia de vegetación propia del lugar como cactus en la parte superior. Esta zona es el punto de contacto entre el Grupo Ancón, Depósitos aluviales-coluviales y el M. Zapotal.					

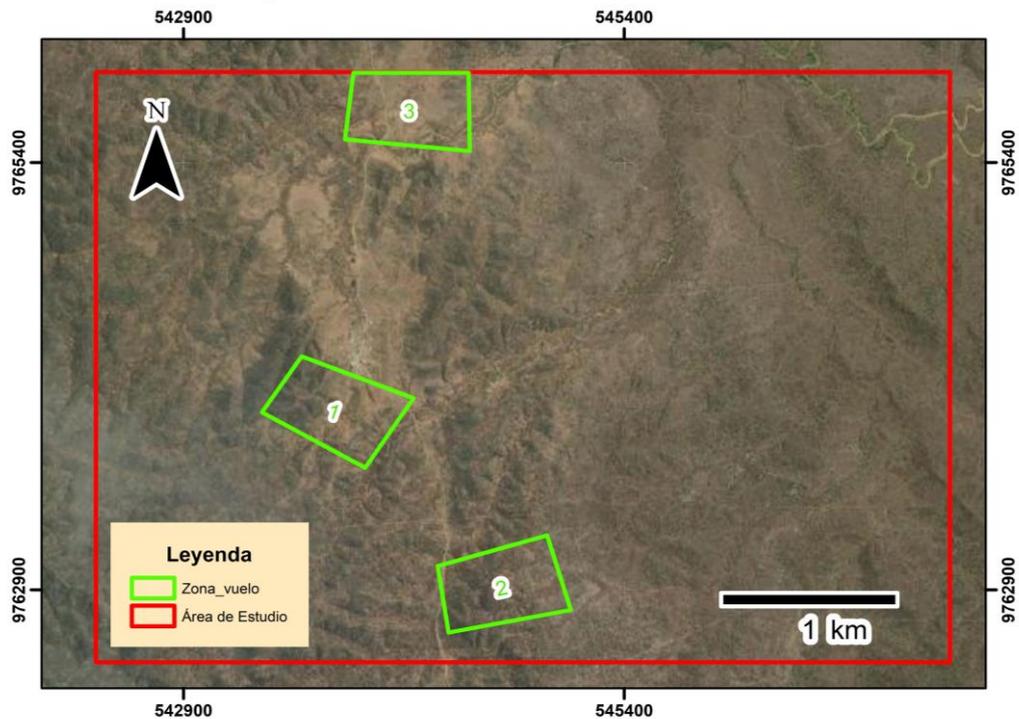
Anexo 22.Ficha de descripción estación EA5

FICHA REGISTRO DE AFLORAMIENTO					
Información General					
Sección N°	EA6	Coordenadas		Fotografía 	
Hora	13:27	WGS 1984	544353 E		
Fecha	27/11/2021	UTM Zona 17	9765569 N		
Responsable	Favio Cano y Luis Sanango		Lugar		A unos metros a la derecha del afloramiento EA5
Descripción Macro					
Bosquejo Afloramiento		Unidad Estratigráfica	A	B	
		Color	Beige amarillento	Beige	
		Contacto	Erosivo	Erosivo	
		Potencia	49 cm	85 cm	
		Rumbo	N228°	-	
		Buzamiento	45°/N42°W	-	
		Diaclasas	No presenta	No presenta	
Descripción Meso					
Bosquejo Columna		Unidad Estratigráfica	A	B	C
		Color	Blanco amarillentas	Amarillentas	Beige
		Tamaño del grano	Muy fino	Fino	Fino
		Textura	Pelítica	Detrítica	-
		Redondez	-	-	Subredondeados a redondeados
		Matriz soportada o Clasto soportado	-	-	Matriz
		Gradación	-	-	Normal
		Litología			
		Matriz	Lutita	Limolita	Arcilla
		Clastos	-	-	Gravilla
		Meteorización	Presente		
Observaciones					
Se puede ver el contacto entre el Grupo Ancón y el Depósito Coluvió-Aluvial en la zona baja del afloramiento EA5.					

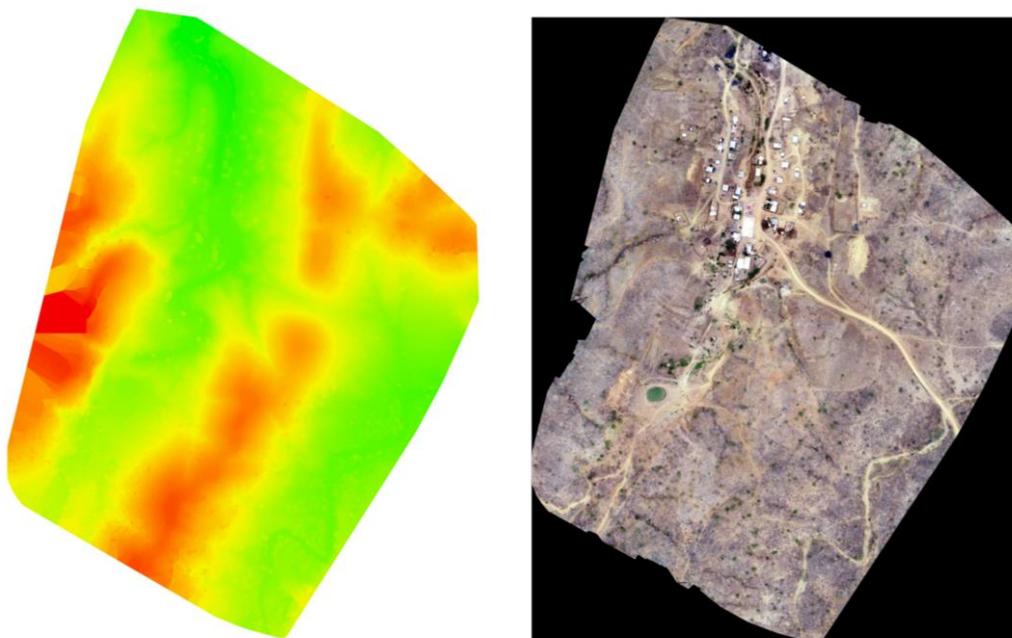
Anexo 23. Ficha de descripción estación EA6

Levantamiento de información mediante dron

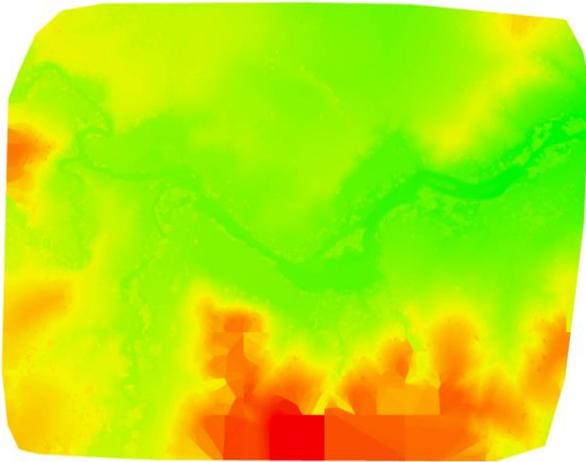
Mapa de ubicación de zonas de vuelo



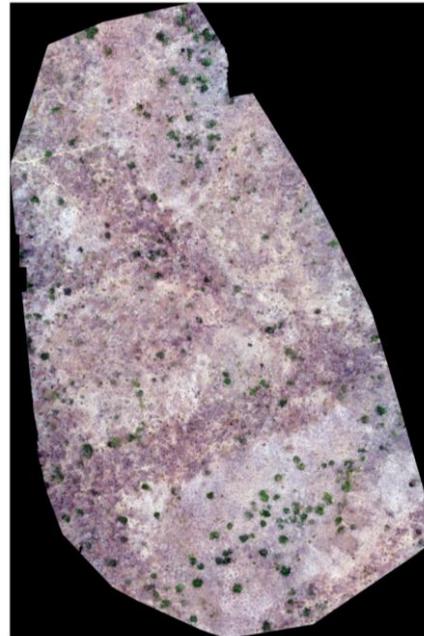
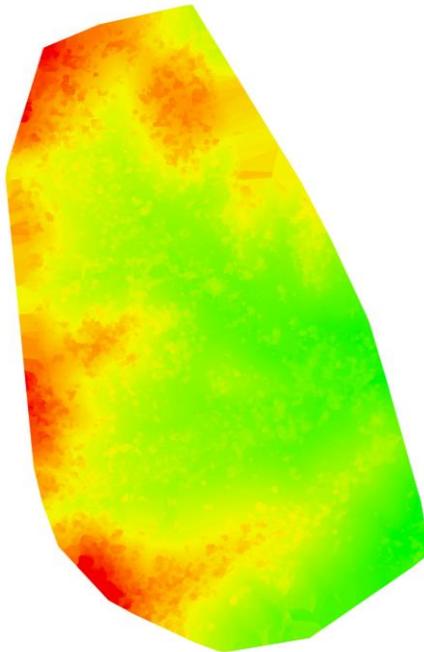
Anexo 24. Zonas de vuelo del dron en el área de estudio para generar modelamiento de terreno



Anexo 25. Modelo digital del terreno del vuelo 1



Anexo 26. Modelo digital del terreno del vuelo 2

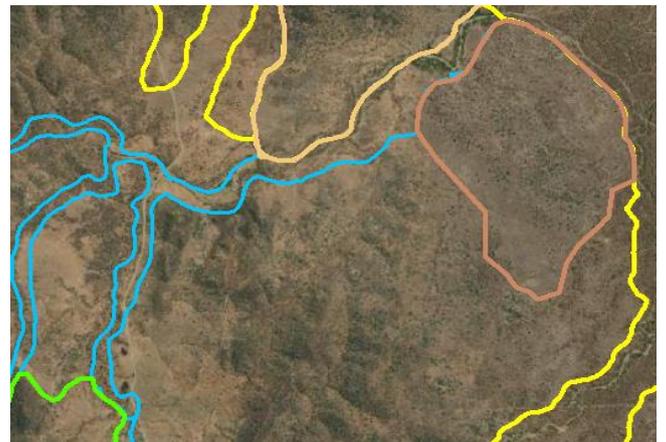


Anexo 27. Modelo digital del terreno del vuelo 3

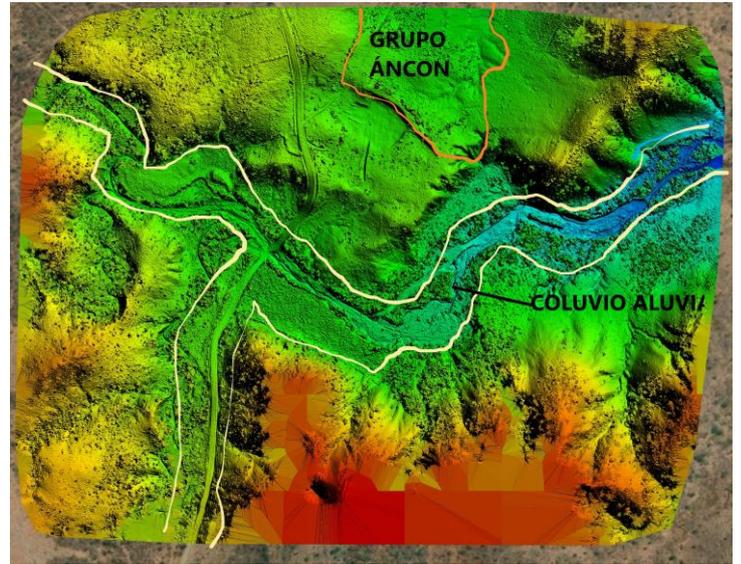
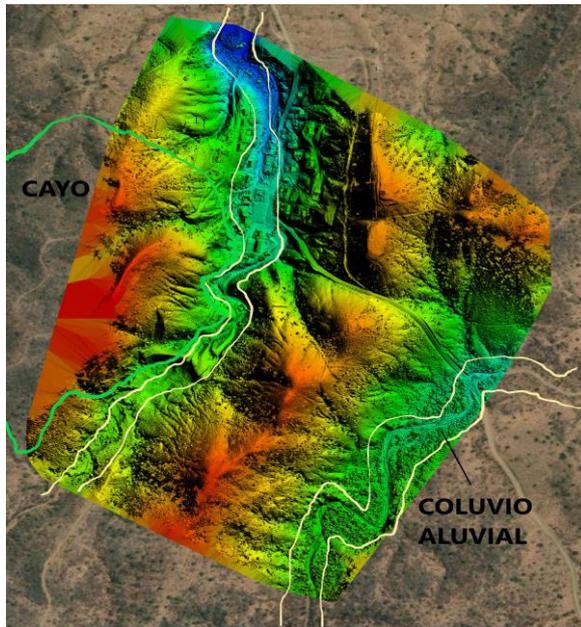
Interpretación de la geología mediante fotogeología



Anexo 28. Imagen satelital del Landsat 8 e interpretación



Anexo 29. Imagen satelital del Landsat 8 e interpretación



Anexo 30. Interpretación por medio del modelo digital del terreno

Sondeos Eléctricos Verticales

CÓDIGO:	SEV1-AGUADITA		CROQUIS		
FECHA:	29-oct-21		Detrás de la albarrada paralelo al lago de agua N 84°		
OPERADOR:					
COORDENADAS X:	543746 m				
COORDENADAS Y:	9763940 m				
COORDENADAS Z:	102 m				
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K		(ohm m)
1	1	0.2	7.54	9.5303 Ω	71.86
2	1.47	0.2	16.66	3.8531 Ω	64.19
3	2.15	0.2	35.99	1.1552 Ω	41.58
4	3.16	0.2	78.11	228.26 mΩ	17.83
5	4.64	0.2	168.78	45.357 mΩ	7.66
6	4.64	0.5	66.85	102.76 mΩ	6.87
7	6.81	0.2	363.92	12.863 mΩ	4.68
8	6.81	0.5	144.91	30.934 mΩ	4.48
9	10	0.5	313.37	11.571 mΩ	3.63
10	14.7	0.5	678.08	7.7311 mΩ	5.24
11	14.7	2	166.58	30.978 mΩ	5.16
12	21.5	0.5	1451.42	2.5469 mΩ	3.70
13	21.5	2	359.91	16.592 mΩ	5.97
14	31.6	2	781.13	8.9164 mΩ	6.96
15	46.4	2	1687.79	183.08 mΩ	309.00
16	46.4	5	668.52	217.4 mΩ	145.34
17	68.1	2	3639.24	-	-
18	68.1	5	1449.1	-	-
19	100	5	3133.75	-	-
20	100	10	1555.09	-	-
21	147	5	6780.83	-	-
22	147	10	3378.63	-	-
23	215	10	7245.3	-	-
24	215	20	3599.09	-	-

Anexo 31. Ficha del primer sondeo eléctrico

CÓDIGO:	SEV2-AGUADITA			CROQUIS	
FECHA:	29-oct-21			66 °N. En medio del pozo 2 y 3	
OPERADOR:					
COORDENADAS X:	543857 m				
COORDENADAS Y:	9764129 m				
COORDENADAS Z:	88 m				
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K		(ohm m)
1	1	0.2	7.54	626.24 mΩ	4.72
2	1.47	0.2	16.66	301.13 mΩ	5.02
3	2.15	0.2	35.99	139.93 mΩ	5.04
4	3.16	0.2	78.11	67.327 mΩ	5.26
5	4.64	0.2	168.78	31.748 mΩ	5.36
6	4.64	0.5	66.85	79.819 mΩ	5.34
7	6.81	0.2	363.92	15.284 mΩ	5.56
8	6.81	0.5	144.91	38.004 mΩ	5.51
9	10	0.5	313.37	19.542 mΩ	6.12
10	14.7	0.5	678.08	6.6949 mΩ	4.54
11	14.7	2	166.58	36.803 mΩ	6.13
12	21.5	0.5	1451.42	4.3188 mΩ	6.27
13	21.5	2	359.91	20.287 mΩ	7.30
14	31.6	2	781.13	10.389 mΩ	8.12
15	46.4	2	1687.79	6.0824 mΩ	10.27
16	46.4	5	668.52	15.359 mΩ	10.27
17	68.1	2	3639.24	-	-
18	68.1	5	1449.1	-	-
19	100	5	3133.75	-	-
20	100	10	1555.09	-	-
21	147	5	6780.83	-	-
22	147	10	3378.63	-	-
23	215	10	7245.3	-	-
24	215	20	3599.09	-	-

Anexo 32. Ficha del segundo sondeo eléctrico vertical

CÓDIGO:		SEV3-AGUADITA		CROQUIS	
FECHA:		29-oct-21		Paralela a los pozos salados N 51°	
OPERADOR:					
COORDENADAS X:		543833 m			
COORDENADAS Y:		9764121 m			
COORDENADAS Z:		91 m			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K		(ohm m)
1	1	0.2	7.54	1.1717 Ω	8.83
2	1.47	0.2	16.66	231.73 mΩ	3.86
3	2.15	0.2	35.99	232.19 mΩ	8.36
4	3.16	0.2	78.11	110.93 mΩ	8.66
5	4.64	0.2	168.78	51.807 mΩ	8.74
6	4.64	0.5	66.85	142.77 mΩ	9.54
7	6.81	0.2	363.92	28.729 mΩ	10.46
8	6.81	0.5	144.91	77.277 mΩ	11.20
9	10	0.5	313.37	41.661 mΩ	13.06
10	14.7	0.5	678.08	20.404 mΩ	13.84
11	14.7	2	166.58	85.338 mΩ	14.22
12	21.5	0.5	1451.42	12.302 mΩ	17.86
13	21.5	2	359.91	50.512 mΩ	18.18
14	31.6	2	781.13	23.556 mΩ	18.40
15	46.4	2	1687.79	-	-
16	46.4	5	668.52	-	-
17	68.1	2	3639.24	-	-
18	68.1	5	1449.1	-	-
19	100	5	3133.75	-	-
20	100	10	1555.09	-	-
21	147	5	6780.83	-	-
22	147	10	3378.63	-	-
23	215	10	7245.3	-	-
24	215	20	3599.09	-	-

Anexo 33. Ficha del tercer sondeo eléctrico vertical

CÓDIGO:		SEV4-AGUADITA		CROQUIS	
FECHA:		2-dic-21		Junto a la estructura de la albarrada N 54°	
OPERADOR:					
COORDENADAS X:		543843 m			
COORDENADAS Y:		9764033 m			
COORDENADAS Z:		90 m			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K		(ohm m)
1	1	0.2	7.54	902.03 mΩ	6.80
2	1.47	0.2	16.66	395.93 mΩ	6.60
3	2.15	0.2	35.99	190.03 mΩ	6.84
4	3.16	0.2	78.11	89.011 mΩ	6.95
5	4.64	0.2	168.78	38.84 mΩ	6.56
6	4.64	0.5	66.85	105.66 mΩ	7.06
7	6.81	0.2	363.92	16.821 mΩ	6.12
8	6.81	0.5	144.91	45.429 mΩ	6.58
9	10	0.5	313.37	21.337 mΩ	6.69
10	14.7	0.5	678.08	10.977 mΩ	7.44
11	14.7	2	166.58	42.976 mΩ	7.16
12	21.5	0.5	1451.42	5.948 mΩ	8.63
13	21.5	2	359.91	21.833 mΩ	7.86
14	31.6	2	781.13	11.551 mΩ	9.02
15	46.4	2	1687.79	-	-
16	46.4	5	668.52	-	-
17	68.1	2	3639.24	-	-
18	68.1	5	1449.1	-	-
19	100	5	3133.75	-	-
20	100	10	1555.09	-	-
21	147	5	6780.83	-	-
22	147	10	3378.63	-	-
23	215	10	7245.3	-	-
24	215	20	3599.09	-	-

Anexo 34. Ficha del cuarto sondeo eléctrico vertical

CÓDIGO:	SEV6-AGUADITA			CROQUIS	
FECHA:	14-ene-22			Por río intermitente saliendo de La Aguadita N 22°	
OPERADOR:					
COORDENADAS X:	544194 m				
COORDENADAS Y:	9763926 m				
COORDENADAS Z:	95 m				
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K		(ohm m)
1	1	0.2	7.54	18.75 Ω	141.38
2	1.47	0.2	16.66	6.1208 Ω	101.97
3	2.15	0.2	35.99	1.8464 Ω	66.45
4	3.16	0.2	78.11	350.88 mΩ	27.41
5	4.64	0.2	168.78	39.127 mΩ	6.60
6	4.64	0.5	66.85	99.977 mΩ	6.68
7	6.81	0.2	363.92	32.15 mΩ	11.70
8	6.81	0.5	144.91	47.152 mΩ	6.83
9	10	0.5	313.37	25.037 mΩ	7.85
10	14.7	0.5	678.08	17.251 mΩ	11.70
11	14.7	2	166.58	27.65 mΩ	4.61
12	21.5	0.5	1451.42	26.938 mΩ	39.10
13	21.5	2	359.91	35.817 mΩ	12.89
14	31.6	2	781.13	126.27 mΩ	98.63
15	46.4	2	1687.79	133.23 mΩ	224.86
16	46.4	5	668.52	254.63 mΩ	170.23
17	68.1	2	3639.24	-	-
18	68.1	5	1449.1	-	-
19	100	5	3133.75	-	-
20	100	10	1555.09	-	-
21	147	5	6780.83	-	-
22	147	10	3378.63	-	-
23	215	10	7245.3	-	-
24	215	20	3599.09	-	-

Anexo 35. Ficha del quinto sondeo eléctrico vertical

CÓDIGO:		SEV6-AGUADITA		CROQUIS	
FECHA:		14-ene-22		N 31° paralelo a la dirección de la estructura de albarrada	
OPERADOR:					
COORDENADAS X:		543725 m			
COORDENADAS Y:		9763916 m			
COORDENADAS Z:		105 m			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia	Resistividad
Punto	AB/2	MN/2	K		(ohm m)
1	1	0.2	7.54	668.42 mΩ	5.0399
2	1.47	0.2	16.66	271.72 mΩ	4.5269
3	2.15	0.2	35.99	118.1 mΩ	4.2504
4	3.16	0.2	78.11	50.6 mΩ	3.9524
5	4.64	0.2	168.78	24.147 mΩ	4.0755
6	4.64	0.5	66.85	60.572 mΩ	4.0492
7	6.81	0.2	363.92	11.395 mΩ	4.1469
8	6.81	0.5	144.91	29.131 mΩ	4.2214
9	10	0.5	313.37	16.887 mΩ	5.2919
10	14.7	0.5	678.08	8.4156 mΩ	5.7065
11	14.7	2	166.58	36.434 mΩ	6.0692
12	21.5	0.5	1451.42	12.184 mΩ	17.6841
13	21.5	2	359.91	23.475 mΩ	8.4489
14	31.6	2	781.13	9.3372 mΩ	7.2936
15	46.4	2	1687.79	7.3075 mΩ	12.3335
16	46.4	5	668.52	14.404 mΩ	9.6294
17	68.1	2	3639.24	4.7394 mΩ	17.2478
18	68.1	5	1449.1	9.063 mΩ	13.1332
19	100	5	3133.75	-	-
20	100	10	1555.09	-	-
21	147	5	6780.83	-	-
22	147	10	3378.63	-	-
23	215	10	7245.3	-	-
24	215	20	3599.09	-	-

Anexo 36. Ficha del sexto sondeo eléctrico vertical

Talleres Participativos con los comuneros



Anexo 37. Indicaciones sobre el uso de la sonda



Anexo 38. Medición del nivel estático en conjunto con los comuneros



Anexo 39. Toma de muestra de agua del pozo 4 para su medición de parámetros



Anexo 40. Medición de parámetros fisicoquímicos con los comuneros



Anexo 41. Indicaciones del uso de la brújula Brunton para medición de sentido del SEV 3



Anexo 42. Foto con los comuneros que participaron durante los talleres