

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Evaluación de la disponibilidad hídrica basado en geoeléctrica y análisis de la calidad de agua en las lagunas de estabilización de la comuna Ayangue, Ecuador

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniería en Geología

Presentado por:

Leslie Johanna Calderón Cartagena

Mariuxi Alexandra Jaime Villón

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

A mi madre, Inés Cartagena que siempre ha velado por mí en todos los aspectos de mi vida, con su amor y apoyo incondicional. A mis abuelos que con su esfuerzo sacaron adelante a toda nuestra gran familia y gracias a eso su descendencia pudo alcanzar este nivel profesional.

Leslie Calderón

Dedico este trabajo en primer lugar a mi madre Maryury Villón, por apoyarme incondicionalmente en mis estudios y por ser el pilar de mi vida, a mi padre Marco Jaime, a mi hermano, familia y amigos que me han brindado su apoyo, consejos y han contribuido para lograr mi meta.

Mariuxi Jaime

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme por darme la convicción de terminar con esta etapa de mi vida estudiantil. Mi más profunda gratitud a todos los profesores que han aportado con sus conocimientos en este proyecto y a lo largo de mi vida estudiantil, en especial a nuestros tutores el PhD. Paúl Carrión que sin su apoyo incondicional nada de esto hubiera sido posible y al Ing. Galo Montenegro que con toda su experiencia y sabiduría supo guiarnos en este camino.

A la Ing. Ximena Quiñonez y al Ing. Luis Sanango que con su trabajo y apoyo constante logramos culminar con el trabajo realizado.

Finalmente, a todos mis amigos, que me brindaron los ánimos y motivaciones para seguir adelante.

Leslie Calderón

AGRADECIMIENTOS

Agradecida con Dios por permitirme finalizar este trabajo y a mis padres por apoyarme. Mi más sincero agradecimiento a los profesores que aportaron con su conocimientos y me han formado profesionalmente, a nuestros tutores el PhD. Paúl Carrión y el Ing. Galo Montenegro por su apoyo, confianza, conocimientos y experiencia para guiarnos en este trabajo.

A la Ing. Ximena Quiñonez y al Ing. Luis Sanango por su apoyo incondicional en este arduo trabajo.

Finalmente, a todos mis amigos, que me brindaron consejos y apoyo emocional para cumplir mi meta.

Mariuxi Jaime

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Leslie Calderón* y Mariuxi Jaime, 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"



Leslie Calderón



Mariuxi Jaime

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**KEILA
MISHELLE
MUTHRE FREIRE**

Ing. Keila Muthre, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**PAUL CESAR
CARRION MERO**

Ing. Paúl Carrión, PhD.

PROFESOR TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**GALO VICENTE
MONTENEGRO
SANTOS**

Ing. Galo Montenegro

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En la provincia de Santa Elena, sectores rurales sufren de la escasez de precipitaciones ocasionados por un clima semiárido en la región. La comuna “Ayangue” se encuentra en la parroquia Colonche, al centro norte de esta provincia con una población de 3000 habitantes. El sector agrícola local, ante la necesidad hídrica ha optado por utilizar lagunas de recolección de agua residual sin tratamiento, cuyos valores de coliformes fecales sobrepasan 120 veces el límite permisible por la ley, además, el volumen de estas lagunas no abastece a toda la demanda agrícola. El proyecto tiene como objetivo desarrollar un estudio de la disponibilidad de aguas subterráneas y un análisis de calidad de agua residual en las lagunas de estabilización, mediante estudios geológicos, geofísicos y control de calidad de las aguas para el planteamiento de una propuesta de gestión sostenible del agua destinado a la agricultura. La metodología aplicada se basa en: i) Síntesis de la información, ii) recolección y análisis de datos hidrológicos hidrogeológicos, saneamiento y uso agrícola, iii) interpretación y correlación de datos y iv) determinación de zonas potenciales para ubicación de pozos y diques. Los resultados indicaron que existen 9 puntos factibles de ubicación para la construcción de pozos y 3 diques semiartesanales. Finalmente, la propuesta de gestión sostenible brinda sitios de aprovechamiento de agua para beneficiar el desarrollo socioeconómico del sector agrícola.

Palabras Clave: Agua residual, aguas subterráneas, diques semiartesanales, agricultura y “Ayangue”.

ABSTRACT

In the province of Santa Elena, rural sectors suffer from the scarcity of rainfall caused by a semi-arid climate in the region. The "Ayangue" commune is located in the Colonche parish, in the north central part of this province with a population of 3,000 inhabitants. The local agricultural sector, faced with the need for water, has opted to use untreated wastewater collection ponds, whose fecal coliform values exceed 120 times the limit allowed by law, in addition, the volume of these ponds does not supply the entire agricultural demand. The project aims to develop a study of groundwater availability and an analysis of wastewater quality in the stabilization ponds, through geological and geophysical studies and water quality control for the development of a proposal for sustainable water management for agriculture. The methodology applied is based: i) synthesis of information, ii) collection and analysis of hydrological hydrogeological data, sanitation and agricultural use, iii) interpretation and correlation of data, and iv) determination of potential zones for the location of wells and dams. The results indicated that there are 9 feasible locations for the construction of wells and 3 semi-arid dams. Finally, the sustainable management proposal provides sites for water use to benefit the socioeconomic development of the agricultural sector.

Key words: *Wastewater, groundwater, semi-artisanal dams, agriculture and "Ayangue".*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	11
1.INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Antecedentes	12
1.2 Descripción del problema	12
1.3 Justificación del problema	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo General	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.5 Definiciones Generales	15
1.5.1. Ciclo hidrológico	15
1.5.2. Cuenca hidrográfica	15
1.5.3. Microcuenca	15
1.5.4. Acuíferos	15
1.5.5 Tipos de acuíferos.....	15
1.5.6 Geoeléctrica	17
1.5.7 Aguas residuales.....	17
1.5.8 Evapotranspiración.....	17
1.5.9 Recarga artificial.....	17
CAPÍTULO 2.....	18
2.MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Ubicación.....	18

2.2 Geología.....	19
2.2.1 Geología Regional.....	19
.....	22
2.2.2 Geología Local	22
2.3 Demografía.....	24
2.4 Geomorfología.....	25
2.4.1 Relieves Litorales Sedimentarios y Fluvio marino	25
2.4.2 Medio aluvial	26
2.5 Hidrografía.....	27
2.6 Clima y Vegetación.....	27
2.7 Precipitación.....	28
2.8 Marco regulatorio ambiental	29
CAPÍTULO 3.....	31
3.METODOLOGÍA.....	31
3.1 Metodología general.....	31
3.2 Softwares	32
3.3 Fase I: Síntesis de la información	33
3.4 Fase II: Recolección y Análisis de datos	34
3.4.1 Hidrología.....	34
3.4.2 Hidrogeología.....	36
3.4.3 Saneamiento y uso agrícola.....	53
.....	55
3.5 Fase III: Interpretación y correlación de datos.....	56
3.5.1 Análisis multitemporal	56
3.5.2 Balance Hídrico	56
3.5.3 Mapa de zonas potenciales de agua subterránea.....	58
3.5.4 Caracterización del subsuelo y agua subterránea.....	58
3.5.5 Calidad de agua y frutas	59
3.6 Fase IV: Ejecución.....	61
3.6.1 Propuesta de gestión sostenible del recurso hídrico y manejo de las aguas residuales de las lagunas de estabilización	61
CAPÍTULO 4.....	62
4.RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	62

4.1 Microcuencas y orden de ríos	62
4.2 Análisis multitemporal.....	63
4.3 Balance hídrico.....	64
4.4 Mapa de posibles zonas de agua subterránea	68
4.5 Descripción geológica	78
4.6 Geoeléctrica	89
4.7 Saneamiento y uso agrícola	99
CAPÍTULO 5.....	101
5.DISCUSIÓN.....	101
CAPÍTULO 6.....	104
6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
6.1 Conclusiones.....	104
6.2 Recomendaciones	105
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS.....	111

ABREVIATURAS

ARCA	Agencia de Regulación y Control del Agua
CIBE	Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador
CIPAT	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
CISPDR	Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research
DEM	Modelo de Elevación Digital
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IEE	Instituto Espacial Ecuatoriano
IGM	Instituto Geográfico Militar
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada
ITGE	Instituto Tecnológico y Minero de España
LORHUyA	Ley Orgánica de Recursos Hídricos de Uso y Aprovechamiento del Agua
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PSE	Península de Santa Elena
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SEVs	Sondeos Eléctricos Verticales
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USGS	Servicio Geológico de Estados Unidos
VMO	World Meteorological Organization
UTM	Universal Transverse Mercator

SIMBOLOGÍA

%	Por ciento
°C	Grados Celsius
cm	Centímetro
g	Gramos
g/cm^3	Gramos por centímetros cúbicos
ha	Hectárea
Km	Kilómetro
km^3	Kilometro cúbico
km^2	Kilómetro cuadrado
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
mg	Miligramo
mg/L	Miligramo por litro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mm/año	Milímetro por año
mmhos/cm	Milimhos por centímetro
mV	Milivoltio
NMP	Número más Probable
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
UFC/g	Unidad Formadora de colonias por gramo
$\mu S/cm$	Microsiemens por centímetro
V	Voltios
Ω cm	Ohmios por centímetros
Ω m	Ohmios por metro
>	Mayor que

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de la problemática y solución del proyecto.....	13
Figura 2.5 Mapa base de la geología local de la comuna "Ayangue".....	24
Figura 2.6. Mapa base geomorfológico de la comuna "Ayangue".	26
Figura 2.7. Mapa base de la hidrografía de la comuna "Ayangue".	27
Figura 2.8 Mapa base de temperatura promedio anual del cantón Santa Elena.	28
Figura 2.9. Mapa base de precipitaciones anuales promedio.	29
Figura 3.1 Esquema de la metodología	31
Figura 3.2 Diagrama de flujo para la delimitación de las microcuencas de la zona de estudio usando el software ArcMap.....	34
Figura 3.3 Diagrama de flujo metodológico del orden de los ríos usando la herramienta ArcMap.	35
Figura 3.4. A) Afloramiento de la formación Tablazo. B) Toma de datos estructurales.	44
Figura 3.5 A) Colocación de electrodos. B) Toma de datos del SEV.	46
Figura 3.6 Configuración Schlumberger.	47
Figura 3.7. Bomba al vacío conectada al matraz con la muestra.	49
Figura 3.8 A) Se establece un nivel de referencia inicial para tomar las medidas. B) Un segundo nivel se establece para tomar el tiempo en el que decae el nivel del agua. ...	50
Figura 3.9 A) Marca referencial para determinar el tope de agua requerido. B) Movimiento para unificar la muestra con agua.	50
Figura 3.10. Bomba al vacío conectada al matraz con la muestra.	51
Figura 3.11. A) Lagunas de estabilización. B) Toma de muestra de agua residual. C) Muestras de agua residual de las lagunas de estabilización	55
Figura 3.12 Valores de resistividades de acuerdo con el tipo de roca o minerales.	59
Figura 4.1. Microcuencas presentes en la comuna "Ayangue" con su respectivo orden de ríos.	62
Figura 4.2. Análisis multitemporal del periodo 1990 al 2021	63
Figura 4.3 Secuencias secas y húmedas del área de influencia periodo 1990-2021. ...	64
Figura 4.4 Balance hídrico mensual promedio de las microcuencas 1990-2021. ETP: Evapotranspiración Potencial, P: Precipitaciones, ETR: Evapotranspiración Real.....	66
Figura 4.5. Balance hídrico mensual promedio de la secuencia seca de 1990-1996. ETP: Evapotranspiración Potencial, P: Precipitaciones, ETR: Evapotranspiración Real.....	67

Figura 4.6 Balance hídrico de la secuencia húmeda de 1997-2003. ETP: Evapotranspiración Potencial, P: Precipitaciones, ETR: Evapotranspiración Real.....	68
Figura 4.7 Mapa de reclasificación factor condicionante: Litología.....	69
Figura 4.8 Mapa de reclasificación factor condicionante: Cobertura y uso de suelo	70
Figura 4.9 Mapa de reclasificación factor condicionante: pendiente	71
Figura 4.10 Mapa de reclasificación factor condicionante: Textura de suelo	72
Figura 4.11 Mapa de reclasificación factor condicionante: densidad de falla	73
Figura 4.12 Mapa de reclasificación factor condicionante: densidad de drenaje.....	74
Figura 4.13 Mapa de reclasificación factor desencadenante: A) Precipitación del Cantón Santa Elena. B) Precipitación de la zona de estudio	75
Figura 4.14 Mapa de factores condicionantes	76
Figura 4.15 Mapa de zonas potenciales de agua subterránea.....	77
Figura 4.16 Columna estratigráfica del afloramiento N°1: F1) Techo del afloramiento. F2) Estrato B. F3) Base del afloramiento.....	78
Figura 4.17 Columna estratigráfica del afloramiento N°2. F1) Afloramiento N°2. F2) Muestra del nivel A.	80
Figura 4.18 Columna estratigráfica del pozo N°1. F1) Pozo N°1. F2) Muestra del nivel B.....	82
Figura 4.19 Columna estratigráfica del pozo N°2. F1) Muestra del Nivel B F2) Icnofacie: "Ophiomorpha Burrow"	83
Figura 4.20 Columna estratigráfica del afloramiento N°3. F1) Afloramiento N°3.	84
Figura 4.21 Curva Granulométrica: Muestra 1.....	85
Figura 4.22 Curva Granulométrica: Muestra 2.....	86
Figura 4.23 Curva Granulométrica: Muestra 3.....	86
Figura 4.24 Mapa Geológico de la comuna "Ayangue"	88
Figura 4.25 Mapa de perfiles geoelectricos.....	89
Figura 4.26 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV25, SEV22, SEV20, SEV18 del perfil 1. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.	90
Figura 4.27 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV22, SEV1, SEV2, SEV5, SEV14 del perfil 2. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.	91
Figura 4.28 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV16, SEV17, SEV11, SEV23, SEV5, SEV9, SEV7 del perfil 3. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.	93

Figura 4.29 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV26, SEV20, SEV13, SEV8, SEV27 del perfil 4. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.95

Figura 4.30 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV4, SEV6, SEV12 del perfil 5. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.96

Figura 4.31 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV24, SEV11, SEV3, SEV25 del perfil 6. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.98

Figura 5.1. Mapa de ubicación de zonas potenciales de pozos y tapes para la gestión del recurso hídrico..... 103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipo de acuífero en base a la movilidad del agua.	16
Tabla 1.2 Tipo de acuífero en base a presión hidrostática.	16
Tabla 3.1. Softwares utilizados en la metodología.	
Tabla 3.2 Material bibliográfico más relevante.	33
Tabla 3.3 Escala de Satty para determinar el valor de Xij	36
Tabla 3.4 Matriz de ponderación aplicando método de jerarquías analíticas	37
Tabla 3.5 Reclasificación de unidades geológica según su permeabilidad	39
Tabla 3.6 Reclasificación de la cobertura y uso del suelo	40
Tabla 3.7 Reclasificación de la pendiente	41
Tabla 3.8 Reclasificación de la Textura de Suelo.....	41
Tabla 3.9 Reclasificación de la densidad de falla	42
Tabla 3.10 Reclasificación de densidad de drenaje	42
Tabla 3.11 Reclasificación de precipitaciones	42
Tabla 3.12 Equipos y materiales utilizados en la actividad geología de campo.	43
Tabla 3.13 Sucesión geológica del pozo A.E.O.L No.1.	44
Tabla 3.14 . Equipos y materiales utilizados en la actividad geoelectrica	45
Tabla 3.15 Equipos y materiales utilizados en los ensayos de laboratorio	48
Tabla 3.16 Valores principales de la permeabilidad del suelo.	52
Tabla 3.17 Valores estimados de porosidad %	52
Tabla 3.18 . Equipos y materiales utilizados en la actividad de saneamiento y uso agrícola.....	53
Tabla 3.19 Ensayos microbiológicos y fisicoquímicos para aguas residuales.	54
Tabla 3.20. Ensayos microbiológicos para frutos.	54
Tabla 3.21 Parámetros de calidad de agua para riego	60
Tabla 3.22 Parámetros de calidad para frutos de consumo.	61
Tabla 4.1 Capacidad de campo máxima de las microcuencas del área de estudio	65
Tabla 4.2 Balance hídrico de las microcuencas Ayangue y Río Viejo durante el periodo 1990-2021	65
Tabla 4.3 Balance hídrico de las microcuencas en secuencia seca.	66
Tabla 4.4 Balance hídrico de las microcuencas en secuencia húmeda.	68
Tabla 4.5 Descripción estratigráfica del afloramiento N°1	79
Tabla 4.6 Descripción estratigráfica del afloramiento N°2	81

Tabla 4.7 Descripción estratigráfica del pozo N°1	82
Tabla 4.8 Descripción estratigráfica del pozo N°2	83
Tabla 4.9 Descripción estratigráfica del pozo N°2	84
Tabla 4.10 Datos estructurales de las estaciones.	85
Tabla 4.11 Resultado de granulometría, permeabilidad y porosidad de muestras de suelo	87
Tabla 4.12 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV25, SEV22, SEV20, SEV15 del perfil 1	90
Tabla 4.13 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV22, SEV1, SEV2, SEV5, SEV14 del perfil 2.....	92
Tabla 4.14 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV16, SEV17, SEV11, SEV23, SEV5, SEV9, SEV7 del perfil 3.....	93
Tabla 4.15 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV26, SEV20, SEV13, SEV8, SEV27 del perfil 4.	95
Tabla 4.16 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV14, SEV6, SEV12 del perfil 5.	97
Tabla 4.17 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV24, SEV11, SEV3, SEV25 del perfil 6.	98
Tabla 4.18 Resultado de los análisis de calidad de las lagunas de estabilización en el uso de aguas para riego agrícola	99
Tabla 4.19 Resultado de los análisis de calidad microbiológicas en los frutos para consumo	100

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico juega un papel fundamental en los procesos y ciclos naturales del mundo, así como también es la fuente necesaria para la subsistencia humana (Lozano, 2018). Se estima que el 97% del agua total del planeta es salada y el 3% restante es agua dulce (Blanco y de la Torre, 2009). En este siglo, el agua puede considerarse tan valiosa como el petróleo, y por más que exista en abundancia, solo un pequeño porcentaje del total cumple con las condiciones de calidad aptas para la vida y el consumo humano (Qadir et al., 2003). La disponibilidad hídrica de fuentes de agua dulce es limitada y depende del porcentaje disponible, de cómo este se gestione y distribuya a la población del planeta. Estos factores provocan la escasez del líquido vital en diversas zonas del mundo, convirtiendo el acceso de este en un privilegio (UNESCO, 2015).

Desde 1980, la utilización del agua se ha ido incrementando un 1% anualmente, debido al acelerado crecimiento demográfico y a la degradación ambiental, principales agentes aceleradores de la crisis hídrica mundial. Se estima que para el año 2050, el incremento de uso del agua será del 20 al 30 % mayor que el actual (UNESCO, 2019). En el mundo, existen más de 2.000 millones de habitantes que enfrentan una amenaza sanitaria inminente ocasionada por la calidad de agua, que perjudica la salud humana y el crecimiento económico sostenible imposibilitando el desarrollo de actividades industriales, ganaderas y agrícolas (UNESCO, 2015).

En Ecuador la región Litoral representa el mayor porcentaje de área destinada para la producción agropecuaria (45%) en comparación con la región Sierra (38%) y Oriente (17%), además se destaca que el 70% de la actividad agrícola nacional depende del riego (Secretaría Nacional del Agua-SENAGUA, 2016). En zonas con déficit hídrico, el método de utilización de agua residual como un recurso hídrico no convencional para la agricultura, trae consigo ventajas siempre y cuando el tratamiento de las aguas sea óptimo, sin embargo, el uso no regulado también representa riesgos en la salud humana y el medio ambiente (Qadir et al., 2007).

1.1 Antecedentes

El volumen de los recursos hídricos en el Ecuador es de 376 km^3 , y está distribuido de la siguiente manera: 19% en la costa, 16% en la sierra y 65% en el oriente (Benavides, 2019). Hace una década el consumo en el país fue de 15.80 km^3 , del cual el 82.6% fue destinado al sector agrícola. La región Costa cuenta con 3,214,924 ha aptas para agricultura y la limitada disponibilidad hídrica refleja que solo el 15% son áreas bajo riego. (SENAGUA & CISPDR, 2016). En los últimos años, la disponibilidad de agua en la región costera del país ha disminuido debido a las bajas precipitaciones y el incremento de la demanda a causa del aumento poblacional (Subsecretaria de Riego y Drenaje, 2011).

Estudios previos realizados en la comuna “Ayangué” de la provincia Santa Elena, indican que las principales fuentes de ingreso económico en la población son la pesca, el turismo y la agricultura (Guapi, 2015). Esta última actividad es realizada por un gran número de comuneros, que poseen tierras aptas para el cultivo. La comuna “Ayangué”, presenta altas temperaturas, bajos índices de humedad y de precipitación y con ello un alto nivel de susceptibilidad a incendios forestales, que inciden en el ciclo hidrológico (Gobierno Autónomo Descentralizado-GAD, 2019).

1.2 Descripción del problema

En la provincia de Santa Elena, sectores con potencial agrícola como la comuna “Ayangué”, sufren de escasez de agua provocado por las bajas precipitaciones de la región. La comunidad se ha visto en la necesidad de abastecerse mediante un método no convencional, que consiste en hacer uso de aguas residuales almacenadas en lagunas de estabilización para regar sus sembríos y de esta manera suplir sus necesidades (Mata & Calderón, 2019).

Una encuesta preliminar realizada a 86 agricultores locales refleja que solo el 29% de los censados acceden a este servicio y que el consumo diario de ese porcentaje es aproximadamente 5961 m^3 , cerca de los 6322 m^3 que corresponden al volumen de las lagunas, reflejando así que el consumo requerido para abastecer a toda la comunidad agrícola es mucho mayor al volumen disponible. Además, la falta de control en el tratamiento de las lagunas de estabilización por parte de las autoridades competentes

genera desconfianza en los habitantes y pueblos aledaños, poniendo en duda la calidad del producto agrícola, ya que se teme que esto tenga repercusiones en la salud humana (Cabrera et al., 2012).

¿Es factible identificar zonas con presencia de agua subterránea mediante la correlación de datos geológicos, topográficos, hidrogeológicos y geofísicos para la búsqueda de fuentes alternativas que abastezcan la demanda hídrica en la comuna? ¿Como se puede plantear una alternativa de gestión de agua superficial y subterránea que dé respuesta a las necesidades de la comunidad de Ayangue?



Figura 1.1 Esquema de la problemática y solución del proyecto.

1.3 Justificación del problema

Ante la alta demanda hídrica de la comuna “Ayangue” se plantea desarrollar un estudio hidrogeológico que busca brindar nuevas opciones de abastecimiento mediante campañas geoeléctricas que permitan determinar zonas factibles con presencia de agua subterránea, que servirán como una fuente alternativa para el sector agrícola proponiendo una gestión sostenible del recurso hídrico, presentando los posibles sectores para ubicar pozos y tapes. Según la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, establece en el artículo 12, que el Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son responsables de la administración, protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua que se encuentren en sus tierras.

Proponer nuevas alternativas de abastecimiento hídrico impulsa que el sector, expanda sus actividades agrícolas con el fin de mejorar la economía interna y con ello la calidad de vida local, cumpliendo así el Objetivo 8 de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, *“Trabajo decente y crecimiento económico”*.

En pro del desarrollo productivo de la comuna, se plantea finalmente analizar la calidad del agua residual almacenada en las lagunas de estabilización y de los productos agrícolas regados con esta agua, con el fin de verificar que se cumplan los criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola establecidos en el artículo 318 de la constitución del Ecuador en el 2008 y en el artículo 89 de la Agencia de Regulación y Control del Agua. Además de cumplir con el ODS 6, *“Agua limpia y saneamiento”*, a través una propuesta de gestión sostenible de manejo de las aguas residuales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un estudio acerca del aprovechamiento del agua mediante hidrología, hidrogeología, análisis de abastecimiento y la calidad del agua considerando las aguas residuales de las lagunas de estabilización para la elaboración de una propuesta sostenible de los recursos hídricos destinado a la agricultura de la comuna Ayangue.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Correlacionar la información topográfica, hidrológica, geológica e hidrogeológica mediante softwares para la elaboración de mapas que permitan la identificación de zonas factibles para agua subterránea.
2. Realizar una caracterización hidrogeológica mediante reconocimiento de campo y campañas geoeléctricas para la identificación de las litologías presentes en la zona.
3. Elaborar una propuesta de gestión sostenible del recurso hídrico y manejo de las aguas residuales de las lagunas de estabilización mediante un análisis integral para consideración de la comuna de Ayangue.

1.5 Definiciones Generales

1.5.1. Ciclo hidrológico

El agua en el planeta se encuentra siempre en movimiento, y el ciclo hidrológico describe las etapas que atraviesa el agua al pasar sobre, por encima y por debajo de la superficie de la Tierra. El ciclo hidrológico se compone de dos fases, la fase atmosférica, que describe el movimiento del agua como gas (vapor de agua) y líquido/ sólido (lluvia y nieve) en la atmósfera. La segunda fase es la fase terrestre, que describe el movimiento del agua en, sobre y a través de la Tierra. La fase terrestre a menudo se divide en la fase de agua superficial (escorrentía, caudal) y la fase de agua subterránea (infiltración, filtración, recarga de acuíferos) (Easton Z & Block E, 2015).

1.5.2. Cuenca hidrográfica

Es un área de terreno delineada topográficamente donde el agua de lluvia que cae en esa superficie drena a un lago, río, humedal u otra vía fluvial en común. Las cuencas hidrográficas pueden ser de cualquier tamaño, pero en general, cuanto mayor sea el cuerpo de agua, mayor será la cuenca hidrográfica (Fox & Andruczyk, 2018).

1.5.3. Microcuenca

Representa un área de drenaje que incorpora todos sus escurrimientos en un canal en común. Las microcuencas cubren una superficie que va desde unas cuantas hectáreas hasta unas cinco mil hectáreas (Sánchez et al., 2003).

1.5.4. Acuíferos

Se denomina acuífero a cualquier estrato geológico con la suficiente porosidad y permeabilidad para almacenar grandes cantidades de agua y permitir la circulación de esta, a través de poros o grietas con la finalidad de ser aprovechada (Aguiló et al., 2014).

1.5.5 Tipos de acuíferos

Los tipos de acuífero pueden ser clasificados por la movilidad de agua y la variabilidad de la presión hidrostática que presenten. De acuerdo con (Custodio & Llamas, 1983) los tipos de acuífero según la movilidad de agua son acuitardo, acuífero, acuícludo, acuífugo como se resume en la (Tabla 1.1 y Figura 1.2).

Tabla 1.1 Tipo de acuífero en base a la movilidad del agua (Custodio & Llamas, 1983).

Acuitardo	Capaces de almacenar agua, pero permiten fluir lentamente debido a su baja permeabilidad. Presenta areniscas y arenas arcillosas.
Acuífero	Almacenan grandes cantidades de agua y el flujo circula fácilmente debido a la acción de la gravedad. Las gravas y rocas con fracturación predominan.
Acuicludo	Puede almacenar cantidades considerables de agua, pero no permite su circulación. Se encuentran limos y arcillas.
Acuífugo	Formaciones que no poseen agua ni la permiten transmitir. Las rocas no fracturadas predominan en este tipo de acuífero.

Los acuíferos que varían según la presión hidrostática se clasifican en libre, semiconfinado y confinado (Vélez, 1999). Se resume más a detalle en la (Tabla 1.2)

Tabla 1.2 Tipo de acuífero en base a presión hidrostática (Vélez, 1999).

Libre	Cercanos a la superficie posee una capa saturada denominada capa freática, donde la presión es igual a la presión atmosférica.
Semiconfinado	Se encuentran totalmente saturados, y se encuentran limitados por un acuitardo.
Confinado	Se caracterizan por que la presión del agua es superior a la presión atmosférica.

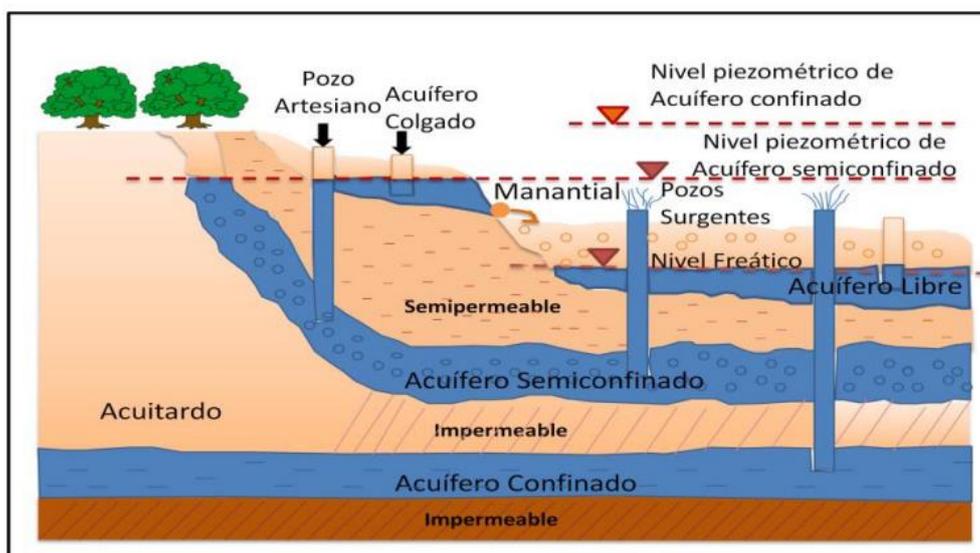


Figura 1.2 Tipos de acuíferos (Bonilla, 2013).

1.5.6 Geoeléctrica

Es un campo de la geofísica que se ocupa del comportamiento de las rocas y los sedimentos en relación con las corrientes eléctricas. La técnica de sondeos eléctricos verticales (SEV) es uno de los métodos más utilizados en la búsqueda de agua subterránea y se basa en la inyección artificial de corriente para obtener valores de resistividades del subsuelo (Auge, 2008).

1.5.7 Aguas residuales

Según la UNESCO (2017), las aguas residuales: *“se consideran como una combinación de uno o más de los siguientes: efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícola, hortícola y acuícola”*.

1.5.8 Evapotranspiración

Es el vapor de agua que se encuentra en la vegetación y en la tierra transferido hacia la atmósfera (World Meteorological Organization-WMO & UNESCO, 2012).

1.5.9 Recarga artificial

Es un método artificial de infiltración de agua, con el fin de acumular y aumentar el recurso para mejorar la calidad del acuífero, utilizando medios artificiales. Para emplear esta recarga se hace uso de las fuentes tales como escorrentía pluvial, ríos, agua residual de uso doméstico y aguas procedentes de un acuífero colindante (Instituto Tecnológico y Minero de España-ITGE, 1995).

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ubicación

La comuna de “Ayangue” perteneciente a la parroquia de Colonche en la provincia de Santa Elena, posee una extensión territorial de 15.25 km y limita al norte con la comuna de San Pedro, al sur con la comuna Palmar, al este con la comuna Sinchal-Barcelona, y al oeste con el Océano Pacífico (Figura 2.1). Se encuentra ubicada a 42.6 km del cantón Santa Elena (GAD, 2019).

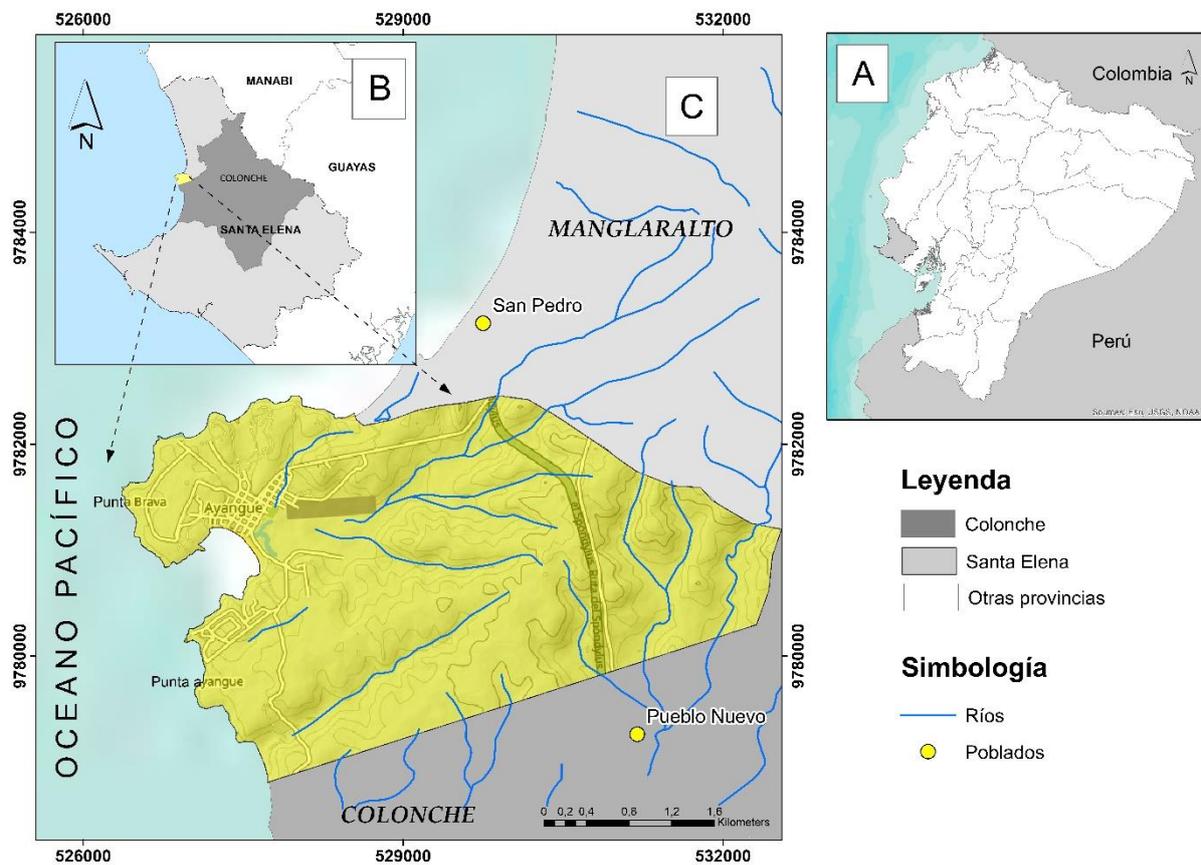


Figura 2.1.A) Ubicación de la provincia de Santa Elena. B) Ubicación de la parroquia Colonche dentro de la provincia. C) Ubicación de la comuna Ayangue.

2.2 Geología

2.2.1 Geología Regional

El Ecuador se encuentra situado al Noroeste de Sudamérica, donde la zona litoral se encuentra expuesta a deformaciones ocasionadas por la subducción de la placa Nazca, en la que se ve involucrada la Cordillera de Carnegie con 400 km de ancho y 2 km de alto (Figura 2.2.A) (Instituto Oceanográfico de la Armada-INOCAR, 2009). Dentro de la diversa morfología estructural del país se destacan la Cordillera de los Andes y la Cordillera de la Costa, formadoras de las cuencas sedimentarias presentes en la región litoral y oriental del país. Las cuencas sedimentarias del perfil costanero se produjeron debido a procesos geológicos de transgresión y regresión marina (Jaillard et al., 1995) y según el estudio gravimétrico del litoral ecuatoriano de Montenegro (2007), se dividen en siete las cuencas sedimentarias del perfil costanero (Figura 2.2.B).

1. Cuenca Borbón.
2. Cuenca Esmeraldas
3. Cuenca Manabí continente
4. Cuenca Manta Bahía mar afuera
5. Cuenca Plataforma de Daule
6. Cuenca Valdivia
7. Cuenca Progreso-Isla Puná Norte

La costa ecuatoriana es considerada una zona alóctona de origen oceánico y de edad cretácica compuesta por basaltos y diabasas con afinidad al plateau oceánico de la formación Piñon sobreyacido por rocas de tipo arco de islas, de edades posteriores al Cretácico tardío.

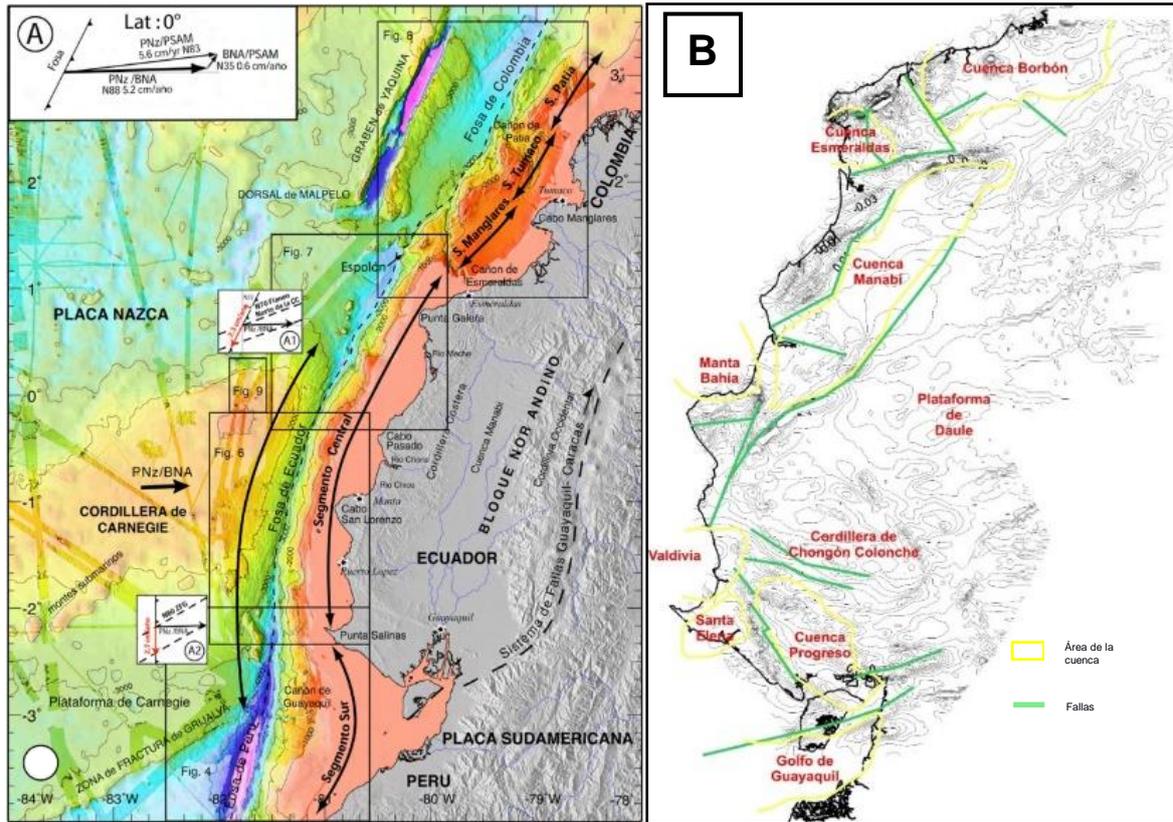


Figura 2.2 A) Vectores de convergencia entre la placa de Nazca, la placa de Sudamérica y el Bloque Nor-Andino con respecto a la fosa de Ecuador INOCAR, 2009. B) Modelo estructural del basamento para mostrar la ubicación de las cuencas del Litoral ecuatoriano (Montenegro, 2007)

La zona sur del litoral ecuatoriano se encuentra conformada por los dominios paleográficos de la Península de Santa Elena (PSE) al sur y la Cordillera Chongón Colonche y la Cuenca Manabí al norte (Figura 2.3). Estos dominios se encuentran separados por la Falla Chongón-Colonche responsable de la sedimentación y subsidencia en la zona. El basamento del antearco ecuatoriano está conformado por la formación Piñón de edad Cretácica. La Península de Santa Elena está comprendida entre la Falla La Cruz y la Falla Posorja con dirección NO-SE, localizada costa afuera en el Golfo de Guayaquil, al Norte la limita la falla Colonche y al Sur el Alto Colonche- San Vicente, en la cual las rocas cretácicas y paleocenas afloran. Además, en la Península de Santa Elena afloran la Formación Santa Elena, el Grupo Azúcar y el Grupo Ancón (Benitez, 1995; Jaillard et al., 1993).

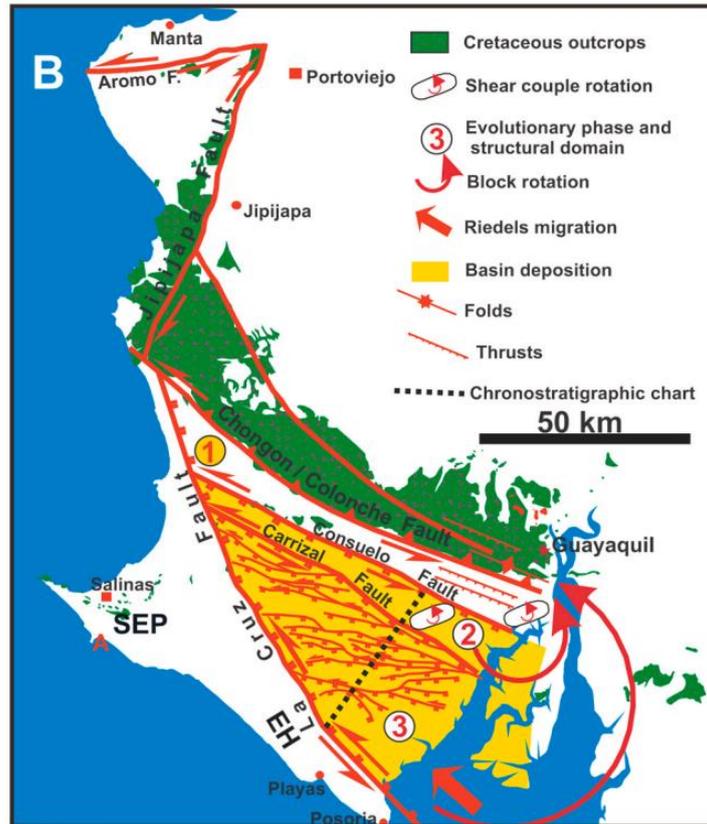


Figura 2.3. Reconstrucción que muestra la antigua sutura de Chongón reactivada como la falla sinistral de La Cruz durante el movimiento hacia el norte de sus riedels y la transrotación del Alto Chongón Colonche. La apertura y la deposición en la Cuenca de Progreso fueron contemporáneas con la rotación de la corteza de 30° en sentido contrario a las agujas del reloj del Chongón Alto que fue desencadenada por un par de cizallamiento de los Riedels principales asociados con la Falla La Cruz. La deposición de la Cuenca de Progreso así formada ocurrió al SO de la Falla Consuelo. EH = Lomas de la Estancia, SEP = Península de Santa Elena, A = Acantilados de Anconcito (Alemán et al., 2021).

Hacia el norte de la frontera entre Ecuador y Perú, el margen interandino experimentó una acumulación compleja de terrenos oceánicos desde el Campaniano Superior. La descripción de su entorno tectónico en la parte SO del Ecuador abarca tres ciclos tectónicos evolutivos principales (Figura 2.4): 1. La acumulación de terrenos oceánicos, 2. La deposición de la cuenca de proa profunda y 3. La deposición de la cuenca de antearco.

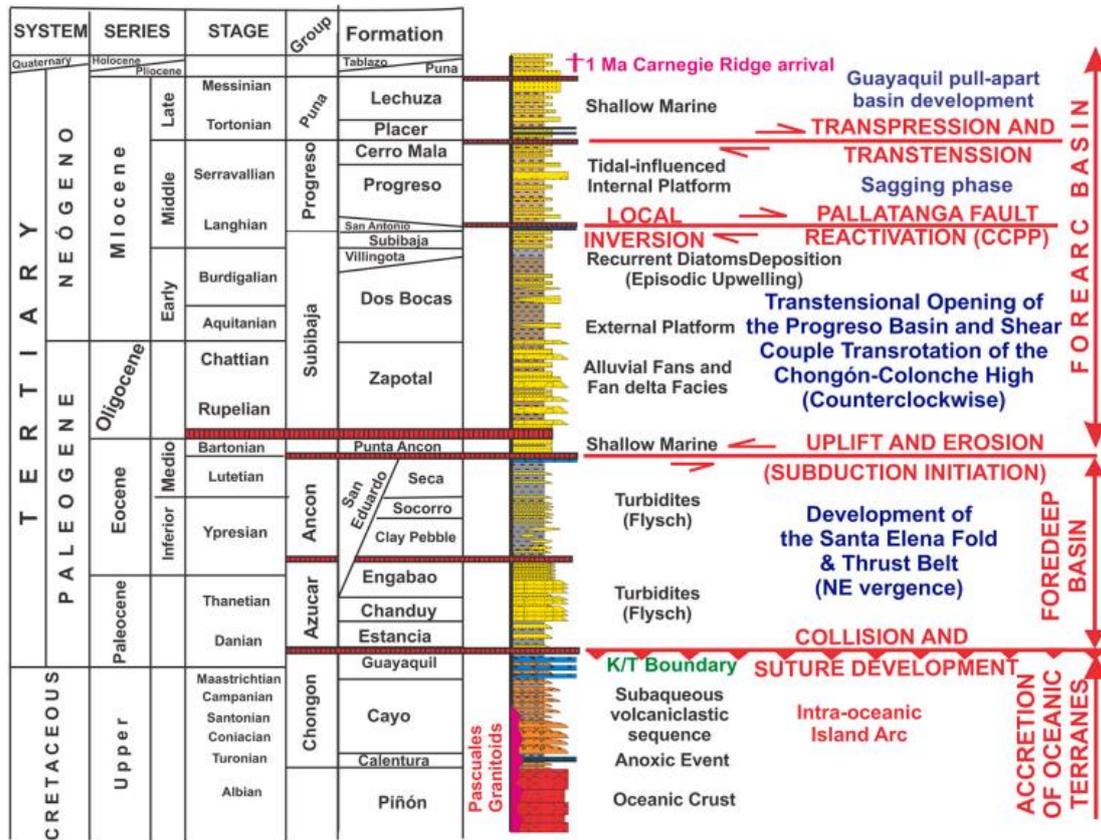


Figura 2.4 Columna estratigráfica del suroeste de Ecuador que muestra los principales eventos tectónicos que incluyeron la acreción y colisión de los terrenos oceánicos alóctonos desde Cretácico al Cuaternario (Alemán et al., 2021).

2.2.2 Geología Local

La geología de la comuna “Ayangué” (Figura 2.5), está conformada por las siguientes unidades litoestratigráficas presentadas a continuación.

Miembro Zapotal [Oligoceno superior]

Es la parte inferior de la Formación Tosagua, yace de forma discordante sobre el Grupo Ancón y se conforma de intercalaciones de areniscas de grano medio, con limolitas, sus capas varían de decimétricas a pluridecimétricas. Respecto a su base, esta se compone de conglomerado, cuarzo, areniscas y calizas. Su espesor estimado es de 600 metros (Núñez del Arco, 2003).

Miembro 2 Bocas [Mioceno inferior]

Se encuentra formado por lutitas limosas, que ante procesos de alteración cambio de color de gris a chocolate, estas se encuentran alternadas por capas de limolitas y areniscas con tamaño de grano fino. Además, se conforma de concreciones calcáreas, su base tiene presencia de limolitas con intercalaciones de yeso y los horizontes de lignito que son encontrados en las lutitas, evidencian el ambiente de deposición marino somero. Su espesor varía entre 1.500 a 2.400 metros (Núñez del Arco, 2003).

Formación Tablazo [Pleistoceno – Holoceno]

La formación está formada por cuatro niveles según sus facies de formación. Su nivel superior se caracteriza por la presencia de lumaquelas y areniscas calcáreas relacionado a un ambiente de mar abierto. En su siguiente nivel, se presentan horizontes de arenas finas, conglomerados y arcillas, con nódulos calcáreos y conchas, característicos de un ambiente de aguas someras. Respecto al tercer nivel, se encuentra conformado por horizontes de arenas, con fragmentos de conchas, su ambiente es igual al nivel superior. El último nivel, el más joven, está bajo el nivel actual del mar. Su espesor es variable con un máximo de 80 metros (Núñez del Arco, 2003; Ordóñez et al., 2006).

Depósito marinos [Pleistoceno-Holoceno]

Estos depósitos suelen ser alargados, se forman debido a los aportes sedimentarios marinos y eólicos. Se encuentran constituidos por materiales arenosos y limos arcillosos, tienden a localizarse de forma paralela a línea de Costa (Instituto Espacial Ecuatoriano-IEE, 2012).

Depósito Coluvio Aluviales [Pleistoceno-Holoceno]

Se encuentra formado por la erosión de las partes más elevadas de la Formación Cayo y Miembro Zapotal y por la acción de la depositación de materiales aluviales debido a las corrientes fluviales y los aportes gravitacionales laterales de las geoformas. Su composición comprende limos, arenas y gravas (IEE, 2012).

Depósitos coluviales [Pleistoceno-Holoceno]

Son depósitos conformado por las acumulaciones de gravas, arenas, arcillas y limos, pero en poca proporción, se presentan en forma de abanicos aluviales, localizados generalmente en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes. Además, se

constituye por fragmentos heterogéneos y angulares rocosas en una matriz final (IEE, 2012; Núñez del Arco, 2003).

Depósito aluviales [Holoceno]

Estos depósitos son lo más reciente, se pueden observar en varias cuencas de Santa Elena, suelen encontrarse conformado por arcillas, areniscas, gravas y conglomerados polimícticos, se caracterizan por contener material erosionado en gran cantidad que han sido arrastrados de los relieves montañosos contiguos y depositadas por corrientes de agua dulce como ríos, esteros y quebradas, formando valles y una porción de las cuencas hidrográficas (IEE, 2012; Núñez del Arco, 2003).

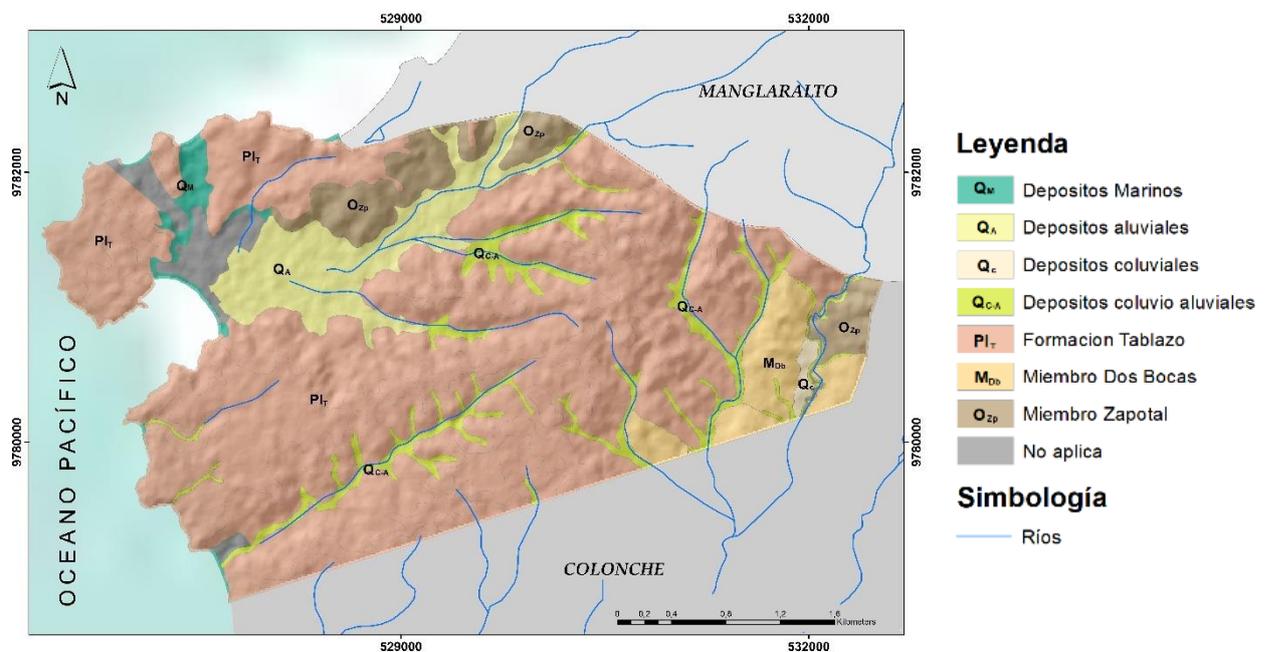


Figura 2.5 Mapa base de la geología local de la comuna "Ayungue".

2.3 Demografía

Según el INEC, la población en la comuna Ayungue fue de 1.357 habitantes en el 2010 siendo el 52.54% hombres y 47.46% mujeres. Para el año 2012 se alcanzó un número de 1400 habitantes, de acuerdo con un censo interno poblacional realizado por la comuna (Tapia, 2015). En la actualidad se estima que el número de personas oscila entre los 2500 a 3000 habitantes, según la Junta Administradora de agua Potable y Alcantarillado de Ayungue, que posee el registro de las personas conectadas al servicio

(Mata & Calderón, 2019). Cuando se categoriza la población por grupos de edad, las proporciones son relativamente similares, con un 59% de adultos y un 36% de niños entre 0 y 12 años. También se destacan los adultos mayores, que representan el 5% de la población total de la comunidad (Baquerizo, 2016).

2.4 Geomorfología

La parroquia Colonche se encuentra constituida por diversas unidades ambientales de las cuales destacan: Cordillera Chongón Colonche, Cordillera Costera Chanduy – Playas, Relieves Estructurales y Colinados Tercearios, Relieves Litorales Sedimentarios y Fluvio Marinos y Medio Aluvial (GAD, 2019), tal como se observa en la Figura 2.6.

2.4.1 Relieves Litorales Sedimentarios y Fluvio marino

Este tipo de relieve se puede encontrar en todo el perfil de costanero del cantón Santa Elena de Norte a Sur desde la Rinconada hasta Engunga. Zonas topográficas notables, con la característica de presentar irregularidad en las cimas. La morfología de la región presenta vertientes de mesas marinas y superficies disectadas, así también geoformas marinas y fluvio-marinas, cordones litorales, planicies costeras entre otras (IEE, 2012).

Superficie de mesa marina

Son relieves sedimentarios, originados por transgresiones marinas y por movimientos asociados a fallas y movimientos tectónicos, que presentan pendientes de 12 % y desniveles que van de 0 a 15 m, se puede encontrar este tipo de geoforma en la Formación Tablazo (IEE, 2012).

Vertiente de mesa marina

Parte lateral de una mesa marina (laderas), se caracteriza por presentar un cambio de litología, en ocasiones, estas presentan pendientes que van desde el 5 al 25 %, y desniveles relativos de hasta 15 m. Se encuentran constituidos por la Formación Tablazo y su origen es tectónico marino (IEE, 2012).

Coluvio aluvial antiguo

Son geoformas producto de la erosión de la Formación Cayo y Miembro Zapotal y de la deposición de materiales aluviales, con pendientes de 5 al 25 % con desniveles menores a 15 m (IEE, 2012).

Vertiente de mesa

De origen tectónico marino provenientes de la Formación Tablazo, las pendientes oscilan del 12 al 25%, el desnivel relativo es menor a 100 m (IEE, 2012).

Superficie disectada de mesa marina

Proviene de relieves sedimentarios, que se caracterizan por un proceso de degradación sobre la superficie de mesa marina. Estas geoformas presentan cimas redondeadas, vertientes convexas, con pendientes del 25 % y desniveles máximos a 15 m (IEE, 2012).

Relieve colinado muy bajo

De origen tectónico erosivo que constituyen parte de la Formación Tablazo, constituyen cimas redondeadas vertientes convexas y sus desniveles alcanzan los 15 m y pendientes que no exceden el 25% y longitudes de hasta 50 m (IEE, 2012).

2.4.2 Medio aluvial

Valle fluvial

De origen deposicional o acumulativo proveniente de los depósitos aluviales, presentan pendientes máximas de 5 % y sus desniveles relativos son menores a 5 m (IEE, 2012).

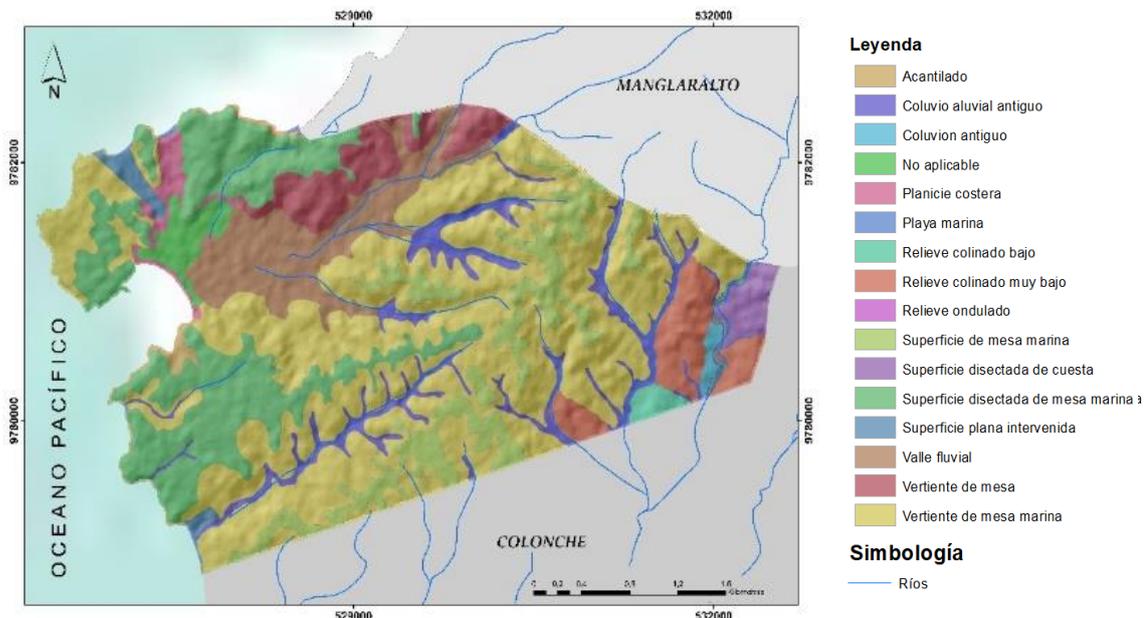


Figura 2.6. Mapa base geomorfológico de la comuna "Ayangué".

2.5 Hidrografía

La hidrografía de la parroquia Colonche (Figura 2.7) está constituida por las cuencas de los ríos Valdivia, Grande de Febres Cordero, Javita, y Zapotal (GAD, 2019). La zona de estudio se encuentra atravesada por las cuencas bajas del río Valdivia y Río Grande de Febres Cordero en donde el río desemboca a ríos mayores o zonas bajas (IEE, 2012).

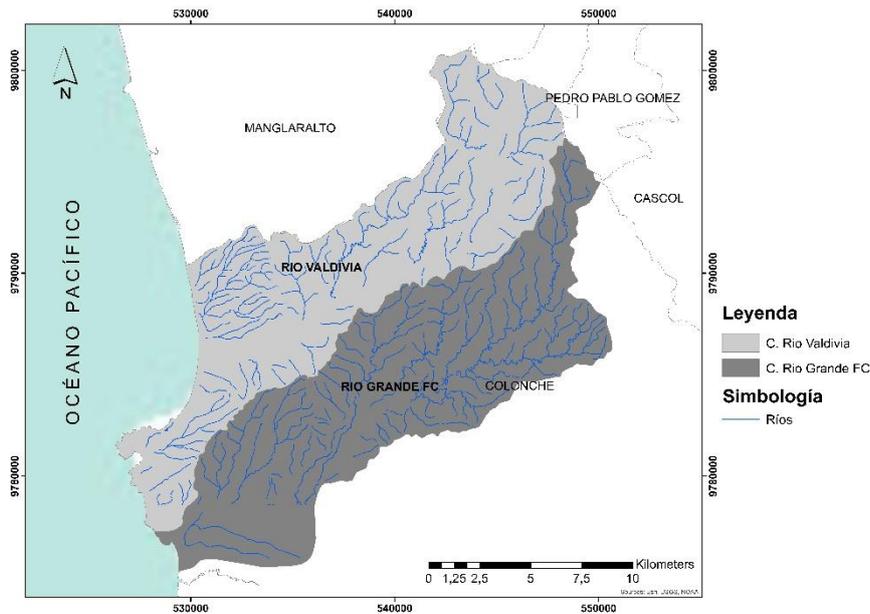


Figura 2.7. Mapa base de la hidrografía de la comuna "Ayangué".

2.6 Clima y Vegetación

La parroquia de Colonche, ubicada en el trópico, tiene dos estaciones muy significativas, la seca que comprende los meses de enero a abril, con una temperatura máxima promedio diaria de 26 °C y la lluviosa que inicia en el mes de junio y finaliza en noviembre, con una máxima promedio de 22°C (Figura 2.8). El impacto de la corriente de Humboldt, debido al agua fría provoca que la tasa de evaporación sea menor, lo que reduce formación de nubes e incrementa la incidencia solar y la sequedad, además, el sistema montañoso de la Cordillera Chongón Colonche ofrece una topografía, con una temperatura anual que fluctúa alrededor de los 26°C y escasas precipitaciones, haciendo de esta una de las parroquias más secas de la provincia de Santa Elena (GAD, 2019).

El 90% de las comunas posee este ecosistema que se caracteriza por la presentar vegetación seca y espinosa. En la comuna de Ayangue se encuentran zonas de vegetación herbácea de playa marina, pastos y cultivos (GAD, 2015).

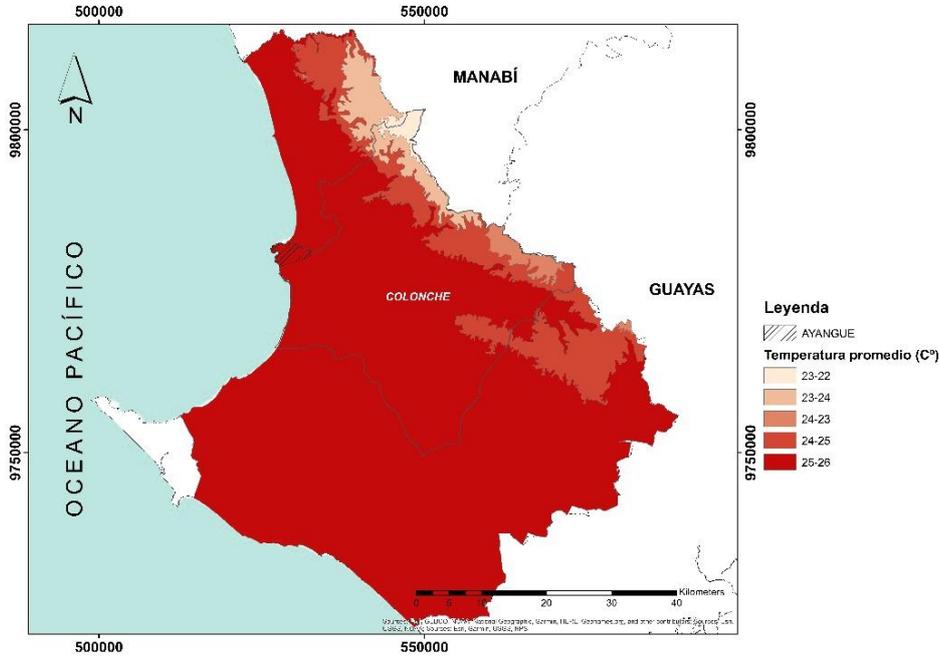


Figura 2.8 Mapa base de temperatura promedio anual del cantón Santa Elena.

2.7 Precipitación

El clima de la parroquia Colonche (Figura 2.9) se debe en gran parte al paso de la corriente fría de Humboldt por las costas ecuatorianas que viaja hacia el sur, ocasionando fuertes precipitaciones en los meses de enero a marzo, y bajas precipitaciones en los meses de abril a septiembre y para los meses de octubre a diciembre se evidencia un pequeño aumento en las precipitaciones (GAD, 2019).

El 23.99% de toda la superficie de la parroquia Colonche tiene una precipitación media anual de 600 mm, las zonas altas que poseen 35.41% del territorio rodean los 750 mm y el perfil costero con un porcentaje de extensión de 6.51% presenta precipitaciones que van de 0 a 250 mm/año (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI, 2010).

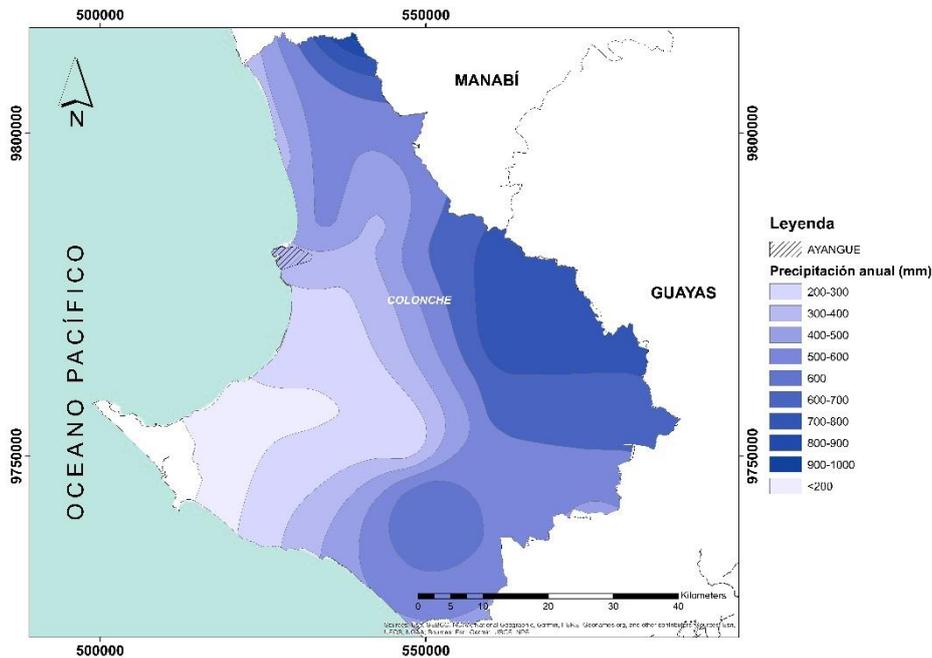


Figura 2.9. Mapa base de precipitaciones anuales promedio.

2.8 Marco regulatorio ambiental

El Plan de Estrategia Nacional de Calidad Agua elaborado por SENAGUA (2016) establece que el Ecuador en 1972, comenzó a tener un marco regulatorio ambiental, integral que garantiza la calidad de agua del recurso hídrico para sus diferentes usos y aprovechamiento. En los siguientes apartados se describe la secuencia del marco regulatorio:

Ley de Aguas, 1972

La ley se enfocaba en la protección de la flora y fauna, declarando al agua como un bien nacional de uso público y administrado por el estado, pero no abarcaba la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, ni su vinculación con el contexto ecológico-ambiental, es decir no brindaba garantía de agua de calidad para los diversos usos y aprovechamientos.

Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, 1976

La presente ley dispone que el Estado ecuatoriano tiene el deber de precaver la adecuada utilización y conservación de los recursos naturales del país, para el beneficio individual y colectivo, prohibiendo que se descargue a fuentes de aguas o alcantarillado

sin sujetarse a una normativa técnica. Adicional, la ley manifiesta que queda prohibido la infiltración de aguas residuales que presenten contaminantes nocivos para la salud de los seres vivos.

Ley de Gestión Ambiental, 2004

El objetivo de esta ley radica en establecer los principios y directrices para la política ambiental del país, en el que se vincula al sector público y privado con sus obligaciones, responsabilidades, participación, informándoles el control y las sanciones al que están expuesto si no cumplen la presente ley.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos de Uso y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA), 2014

En esta ley, se indica que la Autoridad Única del Agua tiene la responsabilidad de gestionar de manera integral e integrada los recursos hídricos, bajo un contexto ecosistémico en cada cuenca o sistema de cuencas hidrográficas del país y será regulada por los diversos niveles de gobierno.

Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), 2014

La ARCA, es la encargada de regular y controlar la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la calidad y cantidad de aguas en las fuentes, en zonas de recarga, así como también en los sectores que requieren el uso y aprovechamiento del agua.

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, 2015

Esta normativa pertenece al Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), la cual se enfoca en la prevención y control de la contaminación ambiental relacionada al recurso hídrico. El objetivo de esta norma es garantizar la calidad del recurso para proteger y conservar su uso, así como la integridad de las personas y ecosistemas con el medio ambiente. Cabe mencionar que esta norma establece los criterios de calidad de las aguas para los diversos usos a los que son destinados, con los cuales se determina si se encuentra dentro de los límites permisibles para su respectiva descarga en cuerpos de agua o sistema de alcantarillado (Ministerio del Ambiente del Ecuador-MAE, 2017)

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1 Metodología general

La metodología a detalle del presente proyecto fue descrita en la Figura 3.1 la cual describe cuatro fases principales: síntesis de la información, recolección y análisis de datos, interpretación y correlación de datos y ejecución.

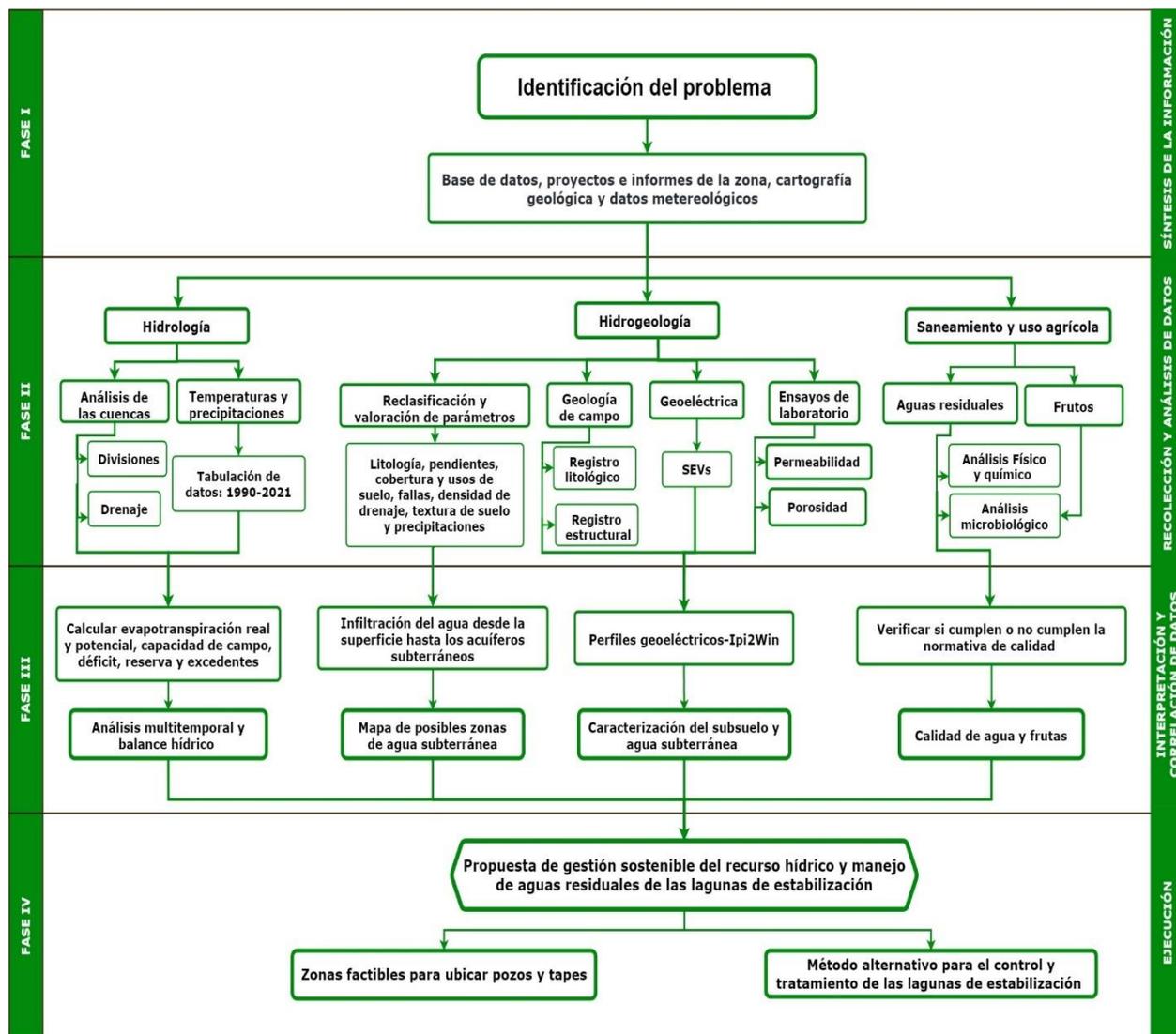


Figura 3.1 Esquema de la metodología

3.2 Softwares

Los programas utilizados en la metodología se especifican en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Softwares utilizados en la metodología.

Software	Descripción	Actividad
Avenza Maps	Es una aplicación de mapas móviles que le permite descargar mapas a su teléfono inteligente o tableta para usarlos sin conexión. Rastrea su ubicación en cualquier mapa usando el GPS incorporado del dispositivo. Dibuja y registra información de la ubicación, importa y exporta puntos de referencia, mide la distancia y el área, agrega fotos.	Levantamiento geológico
ArcMap	Es una sección de ArcGIS Desktop en donde ve y explora conjuntos de datos GIS, asigna símbolos además de crear y editar conjuntos de datos.	Procesamiento de datos GIS
AutoCAD	Programa que facilita la creación de diseños en 2D y 3D para ser visualizado desde todos los ángulos.	Procesamiento de datos para ArcMap
Ipi2Win	Software para interpretar las curvas de resistividad de los sondeos eléctricos verticales.	Procesamiento de datos: Campaña Geoeléctrica
Strater	Programa de visualización diseñado para mostrar datos del subsuelo	Procesamiento de datos: Campaña Geoeléctrica

3.3 Fase I: Síntesis de la información

En esta fase inicial se llevó a cabo la búsqueda bibliográfica del presente proyecto en base a la problemática planteada. Se recopiló, analizó y se filtró la información obtenida de libros, artículos científicos, tesis entre otras fuentes para ser usada en la metodología general del proyecto. La tabla 3.2 presenta la bibliografía más relevante del estudio.

Tabla 3.2 Material bibliográfico más relevante.

Material bibliográfico	Uso	Fuente	Año
Hoja geológica de Manglaralto 1:100000	Litología general y fallas	Instituto Geográfico Militar	1974
Geodatabase para la gestión del territorio a nivel nacional 1:25000 para el cantón Santa Elena provincia de Santa Elena	Clima e hidrología Geomorfología Geopedología: litología, formaciones, tipo de roca entre otros.	Instituto Espacial Ecuatoriano	2012
Imágenes ALOS PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar Mission)	DEM (Modelo de elevación digital)	Alaska Satellite Facility Data Search (ASF)	2011
Anuarios meteorológicos	Datos de temperatura y precipitaciones mensuales por año	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)	1960-2014
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Colonche	Información general de la zona de estudio	Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Colonche	2019
Informe del pozo petrolero A.E.O.L Ayangue No. 1	Sucesión geológica local	Pacifpetrol S.A.	1958
Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua	Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio Del Ambiente	2015

3.4 Fase II: Recolección y Análisis de datos

3.4.1 Hidrología

Análisis de cuencas

Como primer punto en la fase de análisis de la información se delimitaron las microcuencas hidrográficas de los ríos: Ayangue y Rio viejo, además del sistema de drenaje que interviene en la zona de estudio, con el fin usar información actualizada en el desarrollo del proyecto. Además de tener en cuenta que el criterio de clasificación para una microcuenca no debe sobrepasar un rango de 30 a 50 km^2 (Sánchez et al., 2003). En la Figura 3.2 se muestra el proceso sistematizado de la delimitación de las microcuencas.

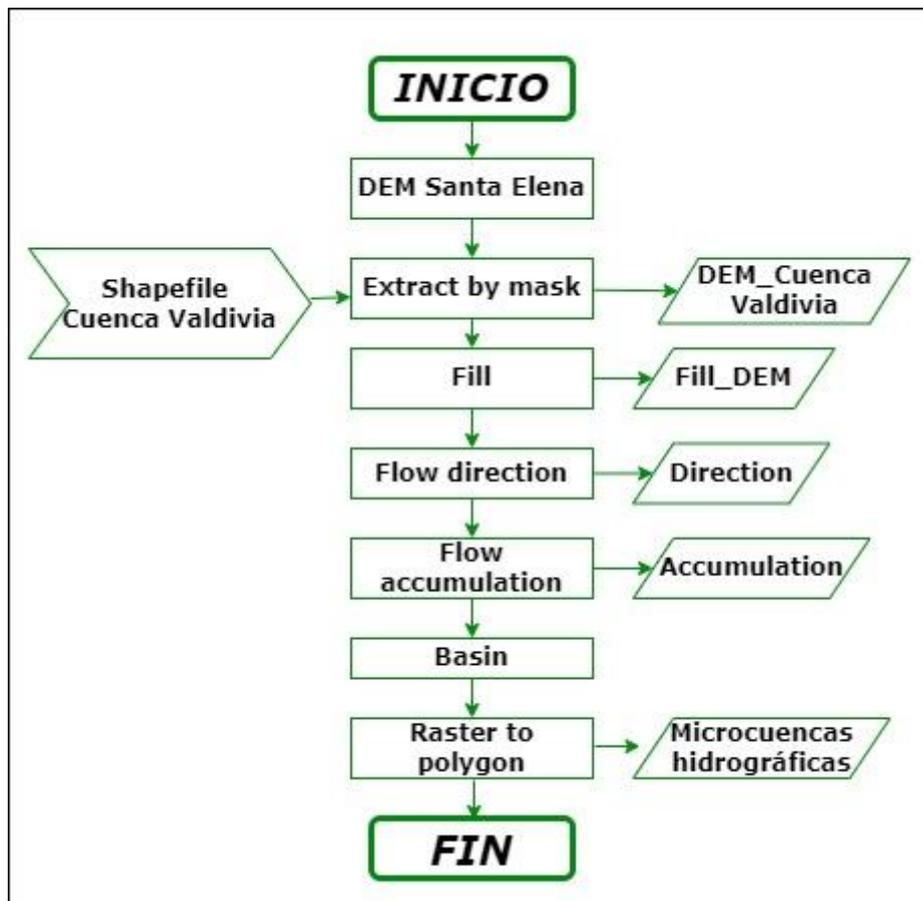


Figura 3.2 Diagrama de flujo para la delimitación de las microcuencas de la zona de estudio usando el software ArcMap.

Después de delimitar las dos microcuencas de los ríos principales del área del proyecto, se procedió a determinar el orden y la frecuencia de drenaje, siguiendo una serie de pasos en el programa ArcMap como se explica en la Figura 3.3.

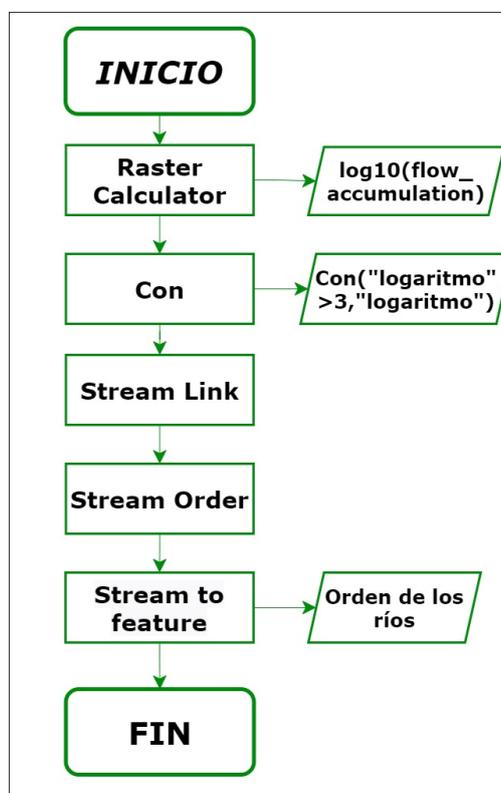


Figura 3.3 Diagrama de flujo metodológico del orden de los ríos usando la herramienta ArcMap.

Temperaturas y precipitaciones

Se utilizó el programa Excel para ordenar y filtrar la información perteneciente a las temperaturas y precipitaciones medias mensuales y anuales del periodo 1990-2021 de la zona de estudio. Estos datos fueron obtenidos de la estación meteorológica "Colonche" (M0780) debido a su proximidad, complementados con el visor de acceso de datos de la NASA: POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resource) y el conjunto de datos proporcionados a través de una capa de isoterma del Google Earth para obtener los datos faltantes de la estación meteorológica (Anexo 1-3).

3.4.2 Hidrogeología

Reclasificación y valoración de parámetros de infiltración de agua

Con los datos obtenidos del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena de la geodatabase del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), que están disponibles para la gestión del territorio a nivel nacional a una escala de 1:25000, se efectuó la reclasificación y valoración de los parámetros vinculados con la infiltración de agua superficial a subterránea, estos parámetros pertenecen a dos categorías que son los factores condicionantes y desencadenantes. Dentro de los factores condicionantes se encuentran litología, pendiente, cobertura y uso de suelo, textura de suelo, fallas, densidad de drenaje y como factor desencadenante considerado se encuentra la precipitación.

Se aplicó el método de jerarquización de Saaty que se basa en una comparación por pares usando la escala planteada por Saaty (1980), ver escala en la Tabla 3.3, para designar la ponderación de los factores condicionantes mencionados.

Tabla 3.3 Escala de Saaty para determinar el valor de X_{ij} (Saaty, 1980)

Nivel de importancia	Definición	Descripción del criterio i, al compararse con j
1	Igualmente, importante	Los dos criterios (i, j) contribuyen de igual manera
3	Moderadamente importante	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento (i) frente al otro (j)
5	Notablemente importante	El juicio y la experiencia previa favorecen notablemente a un criterio (i) frente al otro (j)
7	Demostrablemente más importante	El elemento domina demostrablemente (i) ante el otro (j)
9	Absolutamente más importante	La evidencia que favorece (i) sobre el parámetro (j) es absoluta
2,4,6,8	Valores intermedios	Un poco más que el numeral anterior (1, 3, 5, 7)

Los factores considerados en la comparación por pares se ubicaron en una matriz cuadrada para así darle el valor de influencia en la infiltración de agua que tienen entre

ellos. Para completar la matriz cuadrada, se debió tener en cuenta que los valores de la parte superior derecha son inversos a los de la parte inferior izquierda. Una vez realizada la comparación por pares, se representó entre 0 y 1 el vector propio principal (W_i), que es la suma de los factores normalizados dividido para el número de factores seleccionados (ponderación). La matriz ponderada se observa en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Matriz de ponderación aplicando método de jerarquías analíticas (Aloui et al., 2022)

	LULC	P	TS	DD	DF	L	Ponderación
LULC	1.00	3.00	0.33	2.00	2.00	0.20	0.12
P	0.33	1.00	0.25	2.00	2.00	0.20	0.09
TS	3.00	4.00	1.00	4.00	4.00	0.33	0.24
DD	0.50	0.50	0.25	1.00	1.00	0.20	0.06
DF	0.50	0.50	0.25	1.00	1.00	0.20	0.06
L	5.00	5.00	3.00	5.00	5.00	1.00	0.43
SUMA	10.3	14.0	5.1	15.0	15.0	2.1	1.00

$$\lambda_{max} = 5.23; ri = 1.12; n = 6$$

Luego de completar la matriz de ponderación, se determinó la ecuación que permite realizar el mapa de factores condicionantes (Fc), la cual es utilizada en el programa ArcMap, ver ecuación 3.1.

$$Fc: LULC * 0.12 + P * 0.09 + TS * 0.24 + DD * 0.06 + DF * 0.06 + L * 0.43$$

(3.1)

Donde:

LULC: Uso y cobertura de suelo

P: Pendiente

TS: Textura de suelo

DD: Densidad de drenaje

DF: Densidad de falla

L: Litología

La matriz de ponderación debe tener consistencia para verificar la veracidad de los resultados, para lo cual Satty (1980) admite considerar un radio de consistencia (CR),

ver Ecuación 3.2, que es la razón entre el índice de consistencia y el índice aleatorio, El índice de consistencia se calcula con la Ecuación 3.3.

$$CR = \frac{Ci}{ri} \quad (3.2)$$

$$Ci = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (3.3)$$

Donde:

Ci: índice de consistencia

ri: índice aleatorio

λ_{max} : vector propio máximo

n: número de parámetros

La matriz de ponderación aplicando el método de jerarquización de Saaty (1980), tiene un radio de consistencia de 0.05 equivalente al 5%, con lo que se determinó la consistencia de la matriz ya que no supera el 10% del límite permisible. Una vez obtenido el valor de ponderación de cada parámetro condicionantes vinculado con la infiltración de la zona de estudio, se procede a reclasificarlos con la herramienta "Reclassify" en el software ArcMap, considerando una misma unidad de comparación, se recomienda usar la escala numérica del 1 al 4, valorado de la siguiente manera: "1" Baja, "2" Media, "3" Alta y "4" Muy alta (Abril, 2001). Estos factores son procesados para definir las zonas potenciales de aguas subterráneas, para lo cual se debe proceder a la elaboración de los siguientes mapas: litología, usos y cobertura de suelos, textura de suelos, pendientes, fallas, ríos e isoyetas (Shukla, 2014).

Para llevar a cabo la reclasificación de la unidades geológicas de la zona de estudio respecto a su nivel de influencia en la infiltración, se utilizó la Geodatabase del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) del año 2012, luego se procedió a darle la valoración según Valencia (2017) y el mapa de litopermeabilidades del CIPAT-SENAGUA (2014), la respectiva valoración se observa en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Reclasificación de unidades geológica según su permeabilidad

Unidades Geológicas-Litología	Tipo de permeabilidad	Permeabilidad Clasificación	Valoración
Depósitos aluviales: Arcillas, limos y arenas finas	Porosidad intergranular	Alta	3
Depósitos coluviales: Bloques y gravas de arenisca en matriz limo arenosa	Porosidad intergranular	Muy alta	4
Depósito coluvio aluviales: Limos, arenas de grano fino a grueso, presencia de gravas	Porosidad intergranular	Muy alta	4
Depósitos marinos: Depósitos arenosos y limo arcillosos	Porosidad intergranular	Media	3
Formación Tablazo: Microconglomerados a brechas con cemento calcáreo blanca a gris muy compacta, arenisca calcárea de grano fino a medio	Porosidad intergranular	Media	2
Miembro zapotal: Arenisca fina a media blanda blanco amarillenta con intercalaciones arenosas y de conglomerados	Porosidad intergranular	Media	2
Miembro Dos Bocas: Lutitas chocolate laminadas con concreciones calcáreas y en la base limolitas con presencia de yeso	Porosidad intergranular y fisuración sin importancia hidrogeológica	Baja	1

Para llevar a cabo la reclasificación del uso y cobertura del suelo (LULC) de la zona de estudio respecto a su nivel de influencia en la infiltración, se utilizó la Geodatabase del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) del año 2012, luego se procedió a darle la valoración según Valencia (2017) y (Aloui et al., 2022), la respectiva valoración se observa en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Reclasificación de la cobertura y uso del suelo

Cobertura y uso de suelo	Clasificación	Valoración
Tierras improductivas: Afloramiento rocoso, Playa, suelo descubierto	Baja	1
Agua: Embalse	Baja	1
Antrópico: Área en proceso de urbanización, Complejo industrial, Complejo recreacional, Vertedero de basura, Camaronera, Centro poblado	Baja	1
Conservación y protección: Matorral seco alterado	Media	2
Conservación y protección o pecuario: Vegetación herbácea seca muy alterada	Media	2
Agropecuario mixto: Misceláneo indiferenciado	Alta	3
Agrícola: Barbecho, Ciruelo, Maíz	Alta	3
Agua: Rio doble	Muy alta	4

La reclasificación de la pendiente presente en la zona de estudio se realizó a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM), obtenido de ALOS PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar Mission) del año 2011. A partir de este modelo se procedió a generar la pendiente (%) de la zona para su posterior reclasificación, según Valencia (2017) y (Hussaini et al.2022), la respectiva valoración se observa en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Reclasificación de la pendiente

Pendientes medias %	Relieve	Valoración
0-3	Plano	4
3-7	Suave	4
7-12	Mediano	3
12-20	Accidentado	2
20-35	Fuerte	1
35-50	Muy fuerte	1
50-75	Escarpado	1

La reclasificación de la textura de suelo presente en la zona de estudio se llevó a cabo a partir de la información de la Geodatabase del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) del año 2012, posteriormente se reclasificó en base (Fathi et al.,2020), la valoración respectiva de la textura de suelo se encuentra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Reclasificación de la Textura de Suelo

Textura de suelo	Clasificación	Valoración
Arcilloso	Baja	1
Franco Arcilloso	Baja	1
Franco	Media	2
Franco limoso	Media	2
Franco Arenoso	Alta	3
Arenoso	Muy alta	4

Para llevar a cabo la reclasificación de las fallas presentes en la zona de estudio, se utilizó la información base de la hoja geológica de Manglaralto a escala 1:100000 del Instituto Geográfico Militar del año 1974, se procedió a reclasificar según Valencia (2017) y (Aloui et al., 2022), la respectiva valoración se observa en la Tabla 3.9. La densidad de falla se obtiene a partir del procesamiento de fallas en el programa ArcMap.

Tabla 3.9 Reclasificación de la densidad de falla

Descripción km /km2	Clasificación	Valoración
0-0.50	Baja	1
0.50-1.00	Media	2
1.00-1.50	Alta	3
>1.50	Muy Alta	4

En la reclasificación de la densidad de drenaje presente en la zona de estudio, se utilizó los ríos obtenidos a partir del procesamiento del Modelo de Elevación Digital (DEM) en el programa ArcMap realizado en la sección 3.4.1 para la obtención de microcuencas y orden de ríos, luego se procedió a reclasificar según Valencia (2017), su respectiva valoración se observa en la Tabla 3.10. La densidad de drenaje se obtiene a partir del procesamiento de los ríos en el programa ArcMap.

Tabla 3.10 Reclasificación de densidad de drenaje

Descripción km /km2	Clasificación	Valoración
<2	Baja	4
2-4	Media	3
4-6	Alta	2
>6	Muy Alta	1

Para la reclasificación de la precipitación, factor desencadenante que aporta a la infiltración de agua en la zona, se utilizó la Geodatabase del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) del año 2012, posteriormente se reclasificó en base a Valencia (2017), la respectiva valoración se observa en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Reclasificación de precipitaciones

Descripción mm/año	Clasificación	Valoración
<250	Baja	1
250-500	Media	2
500-1000	Alta	3
1000-2000	Muy Alta	4

Geología de campo

Para llevar a cabo la presente actividad se utilizaron los equipos y materiales descritos en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Equipos y materiales utilizados en la actividad geología de campo.

Equipo	Características	Actividad	Fotografía
Brújula geológica: Brunton standard tránsito	Estilo de medición: Rumbo y buzamiento. Acimut y clinómetro interno: +/- 1/2° con graduaciones de 1°	Levantamiento litológico y estructural	
Navegador	GPS Map 64sx: Altimetro barométrico y brújula de tres ejes. Receptor GPS / GLONASS y GPS / Galileo de alta sensibilidad con antena Cuadrifilar Helix		
Martillo geológico "ESTWING"			
Flexómetro			
Fundas plásticas de muestreo			

Previo a realizar la geología de campo se analizó la información bibliográfica y se creó un mapa base utilizando la Geodatabase del cantón y el DEM procesado de la zona de

estudio, donde se establecieron puntos de estudio de acuerdo con la accesibilidad, geomorfología, elevación y cambios litológicos. Se realizó un levantamiento litológico y estructural de afloramientos presentes en la zona de interés (Figura 3.4), llenando fichas geológicas que destacan las características principales para describir un afloramiento.



Figura 3.4. A) Afloramiento de la formación Tablazo. B) Toma de datos estructurales.

Adicionalmente se correlaciona la información tomada en campo, con el informe geológico del pozo petrolero “Ayangué No.1” elaborado por ANGLO-ECUADORIAN OILFIELDS LTD (A.E.O.L) en 1958 (Tabla 3.13) y el mapa geológico del suroeste del Ecuador (Duke Energy International, 1999). Finalmente, con todos los datos de campo tomados, la información digital procesada y actualizada se elabora un mapa geológico con ayuda del software ArcMap.

Tabla 3.13 Sucesión geológica del pozo A.E.O.L No.1 Adaptado de (Murray et al., 1958).

Coordenadas (A.E.O.L)	N -36,800± E -12,640± 30.48 m.s.n.m (aproximadamente)
Profundidad (m)	Descripción litológica
0-15.85	Arcilla amarilla, pleistoceno. Tablazo
15.85-53.04	Lutita negra dura y arcilla, de gris a negra, suave a dura, con un poco de areniscas fina presencia de fósil de tipo “cristellaria”
53.04-103.63	Arcilla negra blanda
103.63-137.16	Arcilla gris dura, cuarzo y fragmentos de conchas de: cristellaria, rothalia y miliola.

Geoeléctrica

Para llevar a cabo la presente actividad se utilizaron los equipos y materiales descritos en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 . Equipos y materiales utilizados en la actividad geoeléctrica

Equipo	Características	Actividad	Fotografía
Terrameter SAS 1000 (Equipo de sondeos eléctricos verticales)	<p><i>Receptor:</i> Impedancia de entrada: 10M Ω mínimo Resolución (teórica): 30 nV. Precisión WI (típica): 1%. Precisión WI (medida): mejor que 0,1 %</p> <p><i>Transmisor:</i> Corriente de salida: rango automático (1 a 1000mA). Voltaje máximo de salida: 400 V Potencia máxima de salida: 100 W</p>	Campaña de geofísica	
Batería 12 Voltios	Dimensiones: 18 cm x 8 cm. Capacidad: 12 V, 18 Ah		
Electrodos	Varillas de acero inoxidable.		
Combo			
Cinta métrica de 100 m			

Se realizó una campaña geoelectrica de 30 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), los cuales se encuentran distribuidos en toda el área de estudio de acuerdo con factores principales de selección (redes hídricas cercanas, litología y geomorfología). La campaña es un método indirecto que permitió identificar la litología y la permeabilidad del subsuelo además de proporcionar valores aproximados de los espesores de las capas litológicas (Figura 3.5).



Figura 3.5 A) Colocación de electrodos. B) Toma de datos del SEV.

En este estudio hidrogeológico se utilizó el equipo Terrameter SAS 1000, aplicando el método de resistividad de corriente continua que mide características eléctricas del subsuelo por medio de la resistividad aparente. Según las especificaciones del equipo el método de resistividad de los SEV es idóneo para determinar agua subterránea en áreas sedimentarias (ABEM, 2018)

El método consiste en enviar corriente de una batería de 12 voltios a través un par de electrodos (A y B) los cuales se colocan en la superficie de la zona, y dos electrodos (M y N) son los receptores de la diferencia de potencial, obteniendo la resistividad aparente de las capas del subsuelo (Figura 3.6). La configuración de los electrodos, son en base al arreglo de Schlumberger, que especifica que la distancia de separación entre A y B debe ser 5 veces mayor o igual a la distancia entre M y N.

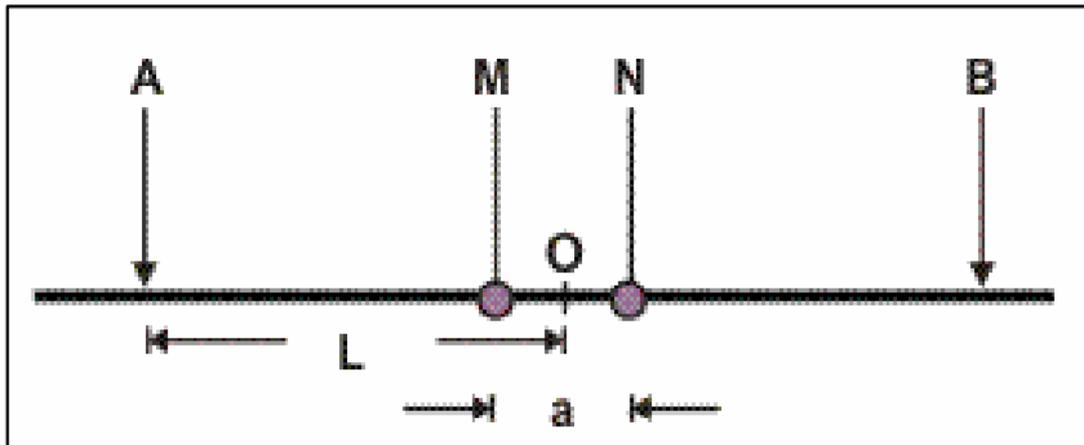


Figura 3.6 Configuración Schlumberger (Auge, 2008).

La resistividad eléctrica aparente de las capas se calcula de acuerdo con la ecuación 3.4:

$$R = \pi \frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN} \times \frac{V}{I} \quad (3.4)$$

Donde:

AB: Distancia entre los electrodos de corriente

MN: Distancia entre los electrodos de diferencia de potencial

V = Diferencia de potencial

I = Corriente

Ensayos de laboratorio

Esta actividad se utilizaron los equipos y materiales descritos en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Equipos y materiales utilizados en los ensayos de laboratorio

Equipo	Actividad	Fotografía
Cámara del permeámetro	Permeabilidad	
Piedras porosas y Papel filtro		
Manómetro		
Cilindro graduado	Porosidad	
Bomba al vacío		
Varios: Embudo, tamices, horno, balanza y contenedores.	Permeabilidad y porosidad	

Los ensayos de granulometría, permeabilidad y porosidad de las tres muestras de suelo provenientes de la comuna “Ayangué” fueron elaborados en el Laboratorio de Geotecnia y Construcción Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, bajo la supervisión del personal técnico. Para la toma de muestras de suelo en el horizonte B (suelo sin material orgánico), se realizaron tres calicatas de profundidad de 1m.

Granulometría

Preparación de la muestra

Este ensayo se realizó para determinar la cantidad de finos que poseen las muestras (Figura 3.7). Primero se registró el peso determinado de la muestra seca y se procedió a colocarla en la torre de los tamices a usar (No. 10, No. 20, No. 40, No. 80, No. 100 Y No. 200) para tamizarla por 5 minutos en el contenedor. La muestra que quedó en el tamiz No. 200 se lavó hasta que la muestra ya no traspasó el tamiz. Finalmente se secó el contenido de muestra retenida en el horno para registrar el peso de la muestra seca y comparar la cantidad de material fino que contenía la muestra.



Figura 3.7. Bomba al vacío conectada al matraz con la muestra.

Permeabilidad

El procedimiento para determinar la permeabilidad dependerá de la granulometría de las muestra. Las 3 muestras fueron denominadas de carga variada debido a su considerable porcentaje de sedimentos finos.

Preparación de la muestra con carga Variable.

Se tamizó la muestra hasta llegar alcanzar un tamaño de 2mm en el material. El peso requerido para llenar el permeámetro fue de $\pm 800g$ y para esto se llenó hasta el borde superior de la cámara. Luego se procedió a colocar el papel filtro sobre la muestra, luego la piedra porosa y cerrar el permeámetro, una vez así se procedió a pesar la muestra dentro del permeámetro sellado, y se conectó al sistema de abastecimiento. Se llenó la

bureta con agua hasta un primer nivel determinado y se esperó a que el flujo se estabilice. Adicional se escogió otro nivel de referencia y para cuando el agua pase por esta segunda medida, se anota el tiempo, la altura final y la temperatura del agua (Figura 3.8).

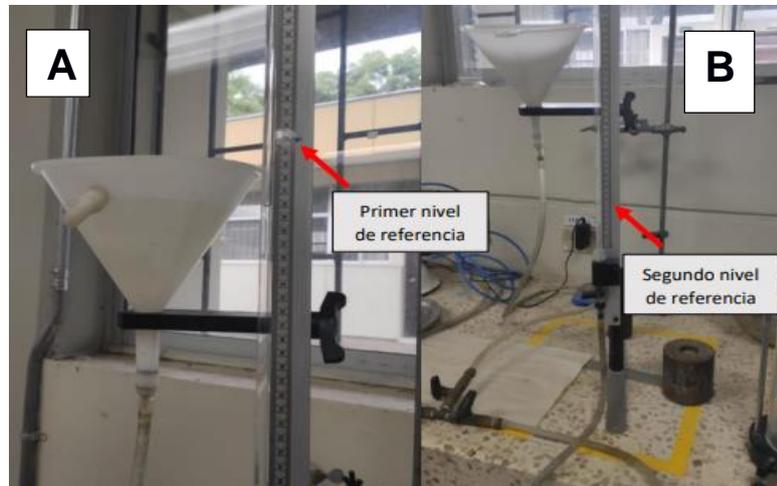


Figura 3.8 A) Se establece un nivel de referencia inicial para tomar las medidas. **B)** Un segundo nivel se establece para tomar el tiempo en el que decae el nivel del agua.

Porosidad

Preparación de la muestra

Como primer paso se registró el peso del matraz antes de agregar la muestra (**W_m**), luego se registró el peso aproximado de 100 ± 10 g de la muestra, para luego agregarla al matraz y así ser registrado (**W_{ms}**). Se procedió a llenar con un embudo de vidrio $\frac{1}{4}$ del matraz con agua, para darle giros con el fin de que la muestra se unifique con el agua (Figura 3.9).

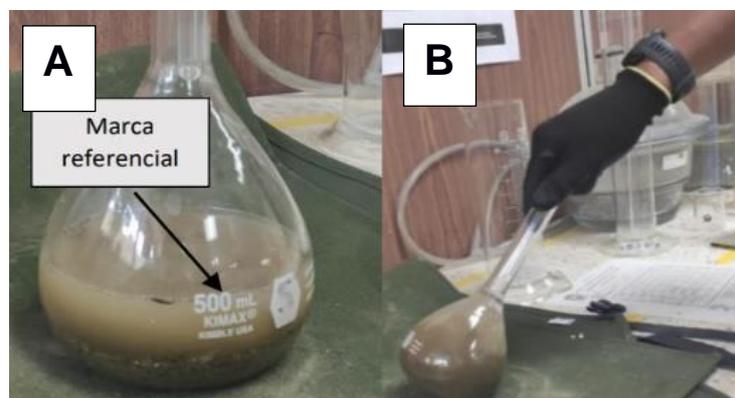


Figura 3.9 A) Marca referencial para determinar el tope de agua requerido. **B)** Movimiento para unificar la muestra con agua.

Luego se conectó el matraz a la bomba al vacío para quitarle el aire, durante 15 minutos hasta que deje de burbujear (Figura 3.10). Después se llenó de agua el matraz hasta una línea referencial con un embudo, para luego pesar la muestra con agua (**Wmws**) y así poner a secar la muestra por 24 horas en el horno (**Ws**), como último paso se tomó la medida solo del matraz con agua hasta la línea de referencia (**Wmw**).



Figura 3.10. Bomba al vacío conectada al matraz con la muestra.

Para comparar los resultados del ensayo de granulometría se debe elaborar la curva granulométrica de cada muestra de suelo y determinar el porcentaje del suelo pasante los tamices (No. 10, No. 20, No. 40, No. 80, No. 100 Y No. 200), donde la suma del tamiz No. 10, No. 20, No. 40, No. 80 y No. 100 equivale al porcentaje de Arenas y el suelo pasante del tamiz No.200 equivale al porcentaje de finos (Limos y arcillas). Además, se debe determinar el coeficientes de Curvatura (CC) y uniformidad (CU), para posterior correlacionarla con la permeabilidad del suelo. Finalmente, si el porcentaje que pasa el tamiz antes mencionado no supera el 12% se procede a dar la clasificación de gradación, tomando como referencia lo siguiente: $CU > 4$ es Grava, $CU < 6$ es Arena y CC debe estar entre 1 y 3, es necesario que cumpla las condiciones de CU y CC para ser considerada bien gradado.

Para llevar a cabo la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad y porosidad se utilizó la Tabla 3.16 y Tabla 3.17

Tabla 3.16 Valores principales de la permeabilidad del suelo (Sowers, 1994).

Suelo	Descripción	Clasificación USCS	Permeabilidad (m/s)
Gravas	Bien gradadas	GW	$10^{-3} a 10^{-1}$
	Bien seleccionadas	GP	$10^{-2} a 10$
	Limosas	GM	$10^{-7} a 10^{-5}$
	Arcillosas	GC	$10^{-8} a 10^{-6}$
Arenas	Bien gradadas	SW	$10^{-5} a 10^{-3}$
	Bien seleccionadas	SP	$10^{-4} a 10^{-2}$
	Limosas	SM	$10^{-7} a 10^{-5}$
	Arcillosas	SC	$10^{-8} a 10^{-6}$
Limos	Baja plasticidad	ML	$10^{-3} a 10^{-1}$
	Alta plasticidad	MH	$10^{-3} a 10^{-1}$
Arcillas	Baja plasticidad	CL	$10^{-3} a 10^{-1}$
	Alta plasticidad	CH	$10^{-3} a 10^{-1}$

Tabla 3.17 Valores estimados de porosidad % (Sowers, 1994).

	Total
Arcillas	40 a 60
Limos	35 a 50
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50
Grava	25 a 40
Shale intacta	1 a 10
Shale fracturada/alterada	30 a 50
Arenisca	5 a 35
Calizas, dolomías no carstificadas	0.1 a 25
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0.01 a 1
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10

3.4.3 Saneamiento y uso agrícola

Análisis físico químico y microbiológico

Para llevar a cabo la presente actividad se utilizaron los equipos y materiales descritos en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18 . Equipos y materiales utilizados en la actividad de saneamiento y uso agrícola.

Equipo	Características	Actividad	Fotografía
Equipo Multiparamétrico WTW 3420	Exactitud (conductividad y TDS): $\pm 0.5\%$ escala completa. Exactitud (resistividad): $\pm 0.5\% \pm 1$ dígito. Intervalo (TDS): 0 a 1999 mg/L. Intervalo (pH): -2 to 20. Intervalo (conductividad): 0 a 2000 mS.	Análisis microbiológico en agua residual y frutos	
2 vasos estériles	Graduado hasta 100 mL		
2 botellas plásticas ámbar	Botella PET farmacéutico ámbar de 1000 ml de capacidad		
2 botellas de vidrio	Vidrio de borosilicato, capacidad de 1000 mL.		
Guantes			
Hielera			

En esta última parte de la fase, se procedió a tomar muestras de agua residual provenientes de las lagunas de estabilización (Figura 3.11) y de cinco frutos seleccionados que han sido regados con este tipo de agua sin tratamiento, para posteriormente enviar las muestras a analizar en el Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) y el Laboratorio de Análisis y Ensayos Bureau Veritas. Los ensayos requeridos para el análisis fueron ensayos microbiológicos y ensayos fisicoquímicos (Tabla 3.19 y 3.20).

Tabla 3.19 Ensayos microbiológicos y fisicoquímicos para aguas residuales.

Ensayos Microbiológicos	Unidades	Ensayos físicos y químicos	Unidades
Coliformes totales	NMP/100ml. Donde NMP: Número más probable	Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L
Coliformes fecales	NMP/100ml	Conductividad	uS/cm
E. coli	NMP/100 ml		
Aceites y grasas*	mg/L	pH	-
Nitritos*	mg/L	Salinidad	-
Sulfatos	mg/L	Temperatura	°C
Oxígeno disuelto	mg/L		
Nota: * Evaluación en laguna de estabilización #1.			

Tabla 3.20. Ensayos microbiológicos para frutos.

Ensayos Microbiológicos	Unidades
Coliformes totales	NMP/ml.
Coliformes fecales	NMP/ml
E. coli	NMP/ml
Enterobacterias	Ausencia/Presencia
N.º Aerobios mesófilos	UFC/g. Donde UFC: Unidad Formadora de Colonias

Los pasos que se realizaron en la toma de las muestras del agua residual de las lagunas de estabilización fueron los siguientes:

- En las botellas plásticas ámbar de 1 litro se tomó la muestra a rebose (que no le entrará el oxígeno).
- En las botellas de vidrio ámbar se colocó por parte del laboratorio 2 ml de ácido nítrico para la preservación del nivel de acidificación de la muestra y se tomó la muestra a rebose.
- Se rotularon las muestras con su respectiva identificación.
- Se usó un contenedor térmico frío (0-5°) para almacenar las muestras.

Para la toma de muestras del fruto regado con agua residual se procuró recoger la muestra 24 horas antes de entregarla al centro de investigaciones antes mencionado.

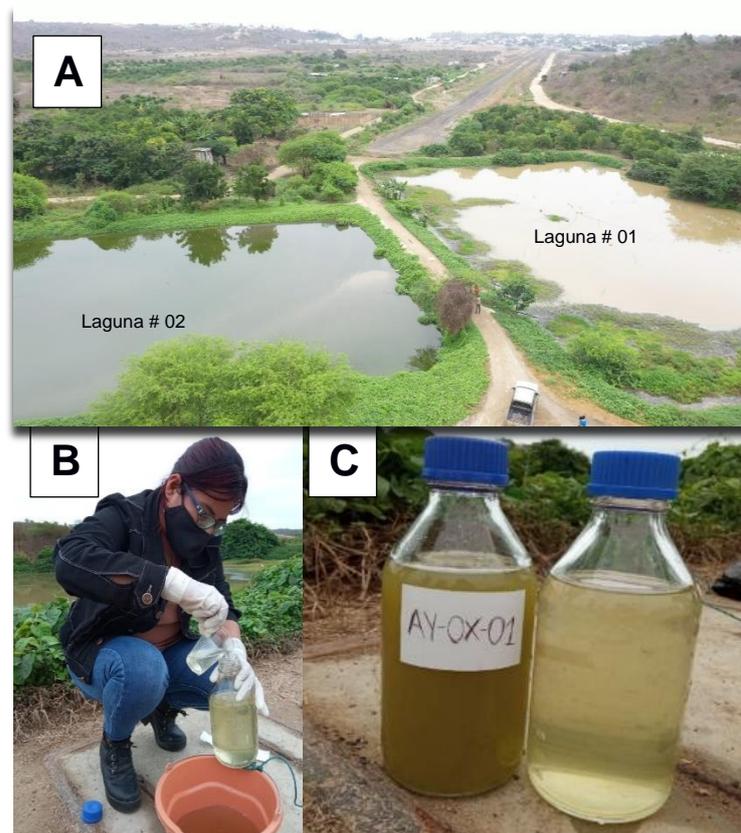


Figura 3.11. A) Lagunas de estabilización. B) Toma de muestra de agua residual. C) Muestras de agua residual de las lagunas de estabilización

3.5 Fase III: Interpretación y correlación de datos

3.5.1 Análisis multitemporal

En esta sección se llevó a cabo el análisis multitemporal de la precipitación y la evapotranspiración real anual, con los datos obtenidos de precipitación y temperatura media anual del periodo comprendido entre 1990 al 2021. Para evaluar la evapotranspiración real en mm/año, se utilizó la ecuación 3.5 de Turc (1961) descrita a continuación (Sánchez F. , 2012):

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

(3.5)

En donde:

Er: Evapotranspiración real en mm

P: Precipitación media anual en mm

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

T: Temperatura media anual en °C

3.5.2 Balance Hídrico

Para este análisis se consideraron los flujos de entrada y de salida al sistema tomando como entradas principalmente las precipitaciones en el periodo de invierno, y como salidas a la evapotranspiración que representa la suma de la evaporación directa desde el suelo y la transpiración de las plantas. Para realizar el balance hídrico se utilizaron los datos base de las precipitaciones mensuales y temperaturas medias comprendidas en el periodo de 1990 a 2021, calculando los siguientes parámetros:

- CC: Capacidad de Campo
- DF: Déficit
- R: Reserva
- EX: Excedentes
- ETP: Evapotranspiración potencial
- ETR: Evapotranspiración Real

La capacidad de campo es la cantidad de agua que puede contener un tipo de suelo y para este proyecto se la determinó utilizando el valor de densidad aparente del suelo

predominante y el volumen de la microcuenca con mayor incidencia en la zona, además de tener en cuenta la capacidad gravimétrica que posee.

Se determinó que el suelo predominante en la microcuenca Ayangué presentaba una textura franco-arcillosa, y el valor de la densidad aparente fue de 1.35 g/cm^{-3} y para la microcuenca Río Viejo de 1.25 g/cm^{-3} (Antúnez et al., 2015) y para la microcuenca Río Viejo. Para el cálculo del volumen de las microcuencas se utilizaron los datos de los niveles estáticos de los pozos presentes en el área para obtener una profundidad promedio y el área se la obtuvo mediante la herramienta "Calculate Geometry" en el software ArcMap. Los excedentes corresponden a la cantidad de agua que no puede ser retenida por el terreno dirigiéndose a la escorrentía superficial o subterránea; para calcular el déficit se restaron los valores de evapotranspiración potencial y real, todo esto después de un análisis de los valores de precipitación y evapotranspiración potencial mensual (Anexo 8). Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, se analizaron los diferentes métodos presentes en (Sánchez F., 2012), y se determinó que el método más adecuado era el de Thornthwaite (1948) "método directo", debido a la ventaja de utilizar pocos parámetros de entrada, teniendo buenos resultados, tanto para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), como para la estimación del balance hídrico.

Método de Thornthwaite

- a. Utilizando los datos de las temperaturas medias mensuales (t), se estableció el índice de calor mensual (i). Ver ecuación 3.6

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

(3.6)

- b. Para obtener la evapotranspiración mensual sin corrección ($ETP_{Sin\ corr.}$) se sumaron todos los valores mensuales del índice de calor (I). Ver ecuación 3.7.

$$I = \sum i$$

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

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

(3.7)

- c. Como último paso se utilizó el número máximo de horas de sol a nivel nacional que es 12.01 (N) y el número de días del mes (d). Ver ecuación 3.8.

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

(3.8)

3.5.3 Mapa de zonas potenciales de agua subterránea

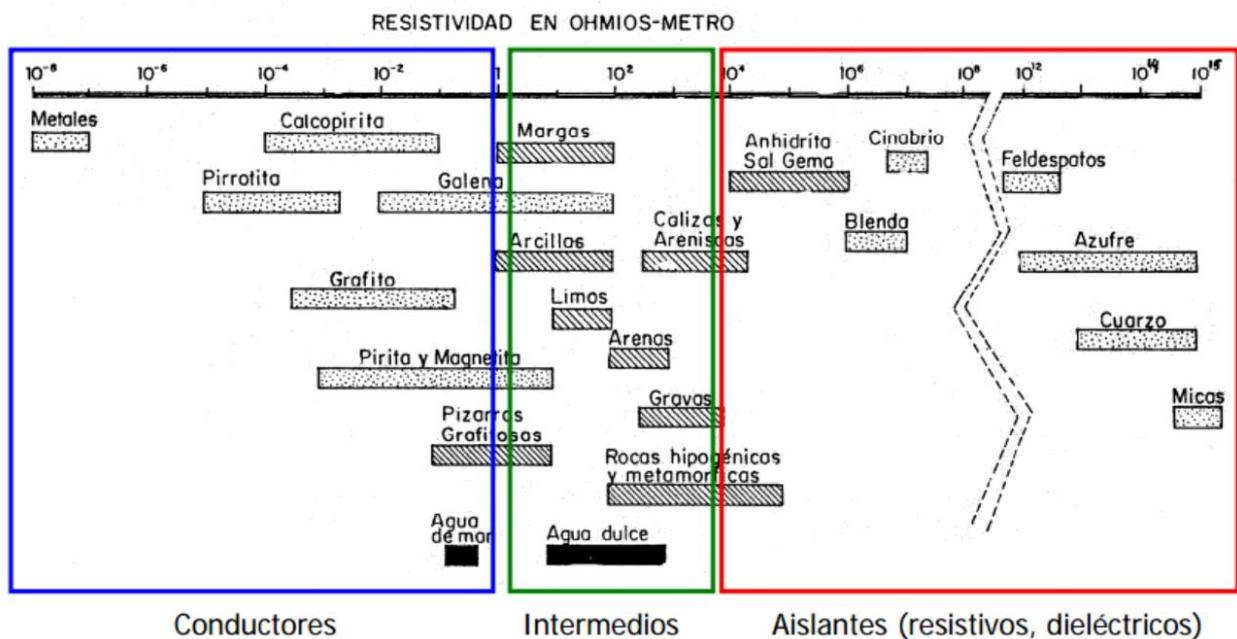
El mapa de zonas potenciales de agua subterránea (ZP) se realizó mediante la correlación de los parámetros que intervienen en la infiltración de agua, por eso se combina los factores condicionantes (Fc) con el mapa del factor desencadenante (Fd), para lo cual a los factores condicionantes se le atribuye el 60 % y al factor desencadenante el 40% (Valencia, 2017), tal como se muestra en la ecuación 3.9: Este mapa es elaborado con la finalidad de definir las zonas potenciales que son más factibles a infiltración de agua en el subsuelo, favoreciendo la recarga hídrica de acuerdo con las características que presenta en la zona de estudio, para así proponer una gestión integral sostenible del agua en la comunidad.

$$ZP: Fc * 0.60 + Fd * 0.40$$

(3.9)

3.5.4 Caracterización del subsuelo y agua subterránea

En esta sección se procede a interpretar los datos obtenidos de los perfiles geoelectricos utilizando el programa IPI2WIN, que, a través de un ajuste en la curva de resistividad, cuyo “eje x” representa la distancia AB/2 y el “eje y” las resistividades de los puntos obtenidos en campo dan un modelo unidimensional del subsuelo en base a las resistividades y sus respectivos espesores (Anexo 11-91). Para mantener la veracidad de los datos el rango de error permisible máximo de 5%. Las resistividades varían de acuerdo con el material presente en cada capa del terreno, la Figura 3.12 muestra los diferentes valores de resistividades de acuerdo con los tipos de roca.



**Figura 3.12 Valores de resistividades de acuerdo con el tipo de roca o minerales.
(Insituto Andaluz de Geofísica- IAG, 2013)**

3.5.5 Calidad de agua y frutas

Se procedió a evaluar el resultado de los ensayos enviados a analizar en los laboratorios según las Normas Técnicas Ecuatorianas. Para determinar los criterios de calidad en el uso de aguas para riego agrícola se utilizó la Tabla 3.21 y para determinar los criterios de calidad microbiológicas en los frutos se utilizó la Tabla 3.22.

Tabla 3.21 Parámetros de calidad de agua para riego. Adaptado de (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, 2017)

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y grasas	Película Visible	-	Ausencia
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Nitritos	NO ₂	mg/l	0.5
Sulfatos	NO ₄ ⁻²	mg/l	250
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH	-	6-9
Conductividad	CE	milimhos/cm (mmhos/cm)	0.7 (ninguna restricción) 0.7-3 (ligera moderada restricción) >3 (severa restricción)
Salinidad	-	-	La presencia afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos
Total, de Sólidos Disueltos	TDS	mg/l	450 (ninguna restricción) 450-2000 (ligera a moderada restricción) >2000 (severa restricción)

Tabla 3.22 Parámetros de calidad para frutos de consumo. Modificado de (Ministerio de Salud Pública,1991,2013)

Ensayos Microbiológicos	Unidades	Criterios de calidad
Coliformes totales	NMP/ml.	<9
Coliformes fecales	NMP/ml	<3
E. coli	UFC/ ml o g UFC: Unidad Formadora de Colonias	<10
Enterobacterias	Ausencia/Presencia	Ausencia
N.º Aerobios mesófilos	Recuento microorganismos mesófilos/gr	20000-50000

3.6 Fase IV: Ejecución

3.6.1 Propuesta de gestión sostenible del recurso hídrico y manejo de las aguas residuales de las lagunas de estabilización

En esta última fase se elaboró una propuesta de gestión sostenible del recurso hídrico y manejo de aguas residuales a partir de la interpretación y correlación de todos los datos de las fases anteriores. La propuesta comprende la determinación de las zonas factibles con presencia de agua subterránea para la ubicación de pozos y de tapes artesanales para abastecer la recarga hídrica de la zona, además de establecer las directrices de un método alternativo para el control y tratamiento de las lagunas de estabilización.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se detallan los productos de las fases descritas en el capítulo 3.

4.1 Microcuencas y orden de ríos

Para llevar a cabo la determinación de las microcuencas presentes en el área de estudio, se realizaron los procesos descritos en la sección 3.4.1, que dieron como resultado la delimitación de la microcuenca “Ayangue” con un área de 8.65km^2 perteneciente a la cuenca del río Valdivia y la microcuenca río Viejo con un área de 8.56km^2 perteneciente a la cuenca del río Grande FC, cada una con un orden de ríos de nivel 3 (Figura 4.1).

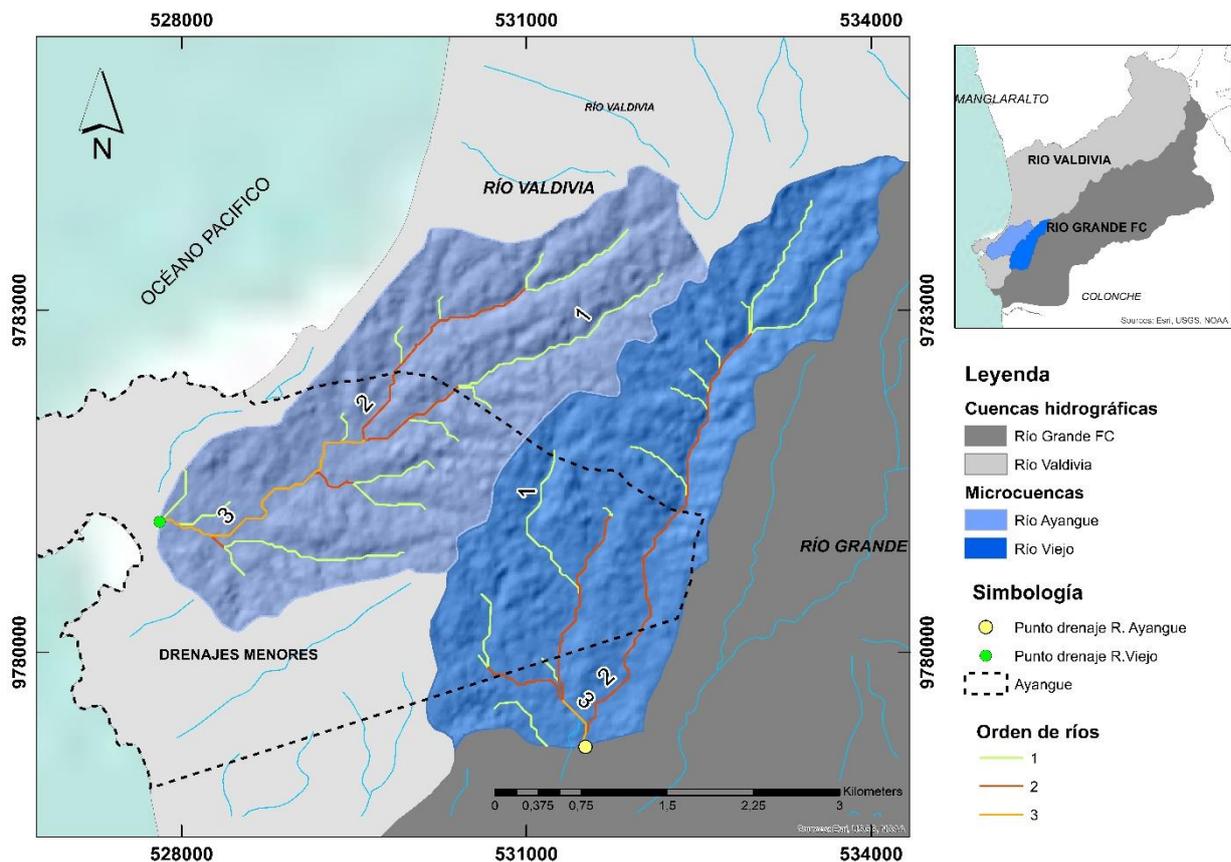


Figura 4.1. Microcuencas presentes en la comuna “Ayangue” con su respectivo orden de ríos.

4.2 Análisis multitemporal

Para llevar a cabo el análisis multitemporal del periodo 1990 al 2021 que se observa en la Figura 4.2 y por consiguiente el balance hídrico descrito en el punto 4.3, se tomaron en cuenta los valores de precipitación y temperatura de la estación Colonche (M0780), debido a la proximidad que presenta con el área de estudio. Los datos proporcionados por parte del INAMHI, presentaron datos de precipitaciones faltantes, para los cuales se procedió a realizar una interpolación con las estaciones aledañas de Barcelona (M0782), El Suspiro (M0245) y el visor de acceso de datos de la NASA: POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resource), con el criterio de la cercanía que también presentan con el área de influencia, determinada por los polígonos de Thiessen. Los datos se encuentran descritos en el Anexo 4-7.

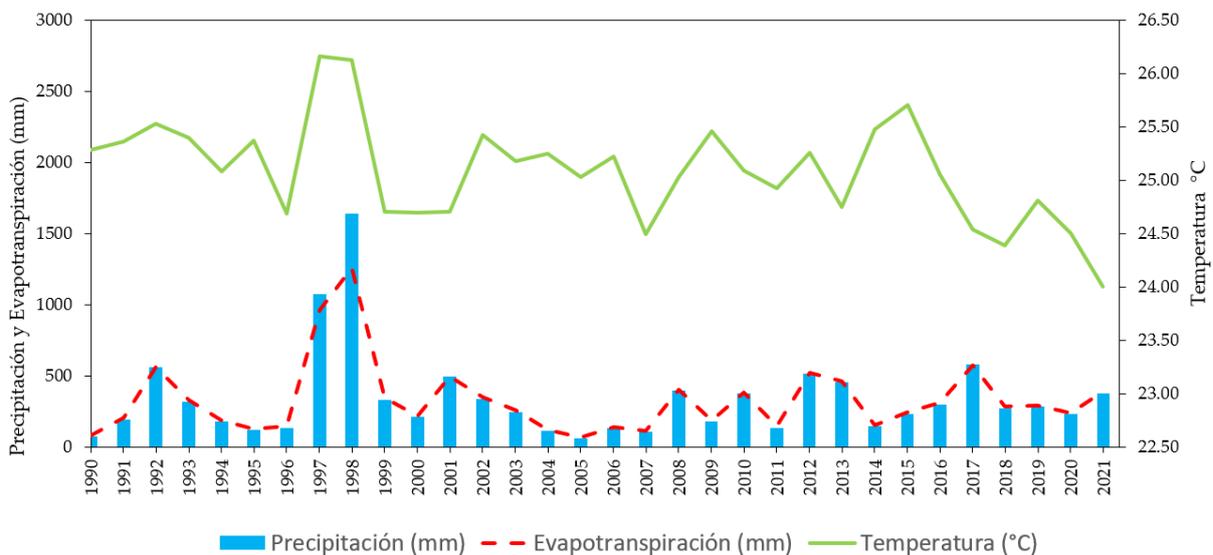


Figura 4.2. Análisis multitemporal del periodo 1990 al 2021

Con los datos de temperatura y precipitaciones se calculó el valor de la evapotranspiración real, utilizando la ecuación (3.5) descrita en la sección 3.5.1 de metodología. La línea de tendencia de la temperatura es variable, presenta rangos que van desde los 24°C hasta aproximadamente los 26°C. La diferencia entre la evapotranspiración real y la precipitación no presenta una variación considerable durante todo el periodo, a excepción de los años 1997 y 1998, años en los que se presentó el fenómeno del Niño en el país y durante los años 2004 al 2007 los valores no

sobrepasaron los 150 mm de precipitaciones anuales, siendo los valores mínimos de todo el periodo (Figura 4.2).

A continuación, se presenta en la figura 4.3 el análisis de las secuencias secas y húmedas del área de influencia en el periodo 1990 a 2021. Se determinó que en la zona existieron dos secuencias secas comprendidas entre los años 1990 al 1996 y 2003 al 2021, además una secuencia húmeda entre los años 1997 al 2002. En la segunda secuencia de sequía, los años más críticos fueron del 2003 al 2007, donde se presencia una caída abrupta de las precipitaciones con valores menores a los 100 mm anuales, y en los años posteriores hasta el año 2021, no se presentarían variaciones que superen los 500 mm anuales, dando a conocer que las secuencias secas son las secuencias predominantes durante el todo periodo y la secuencia húmeda no sobrepasa los 8 años de duración.

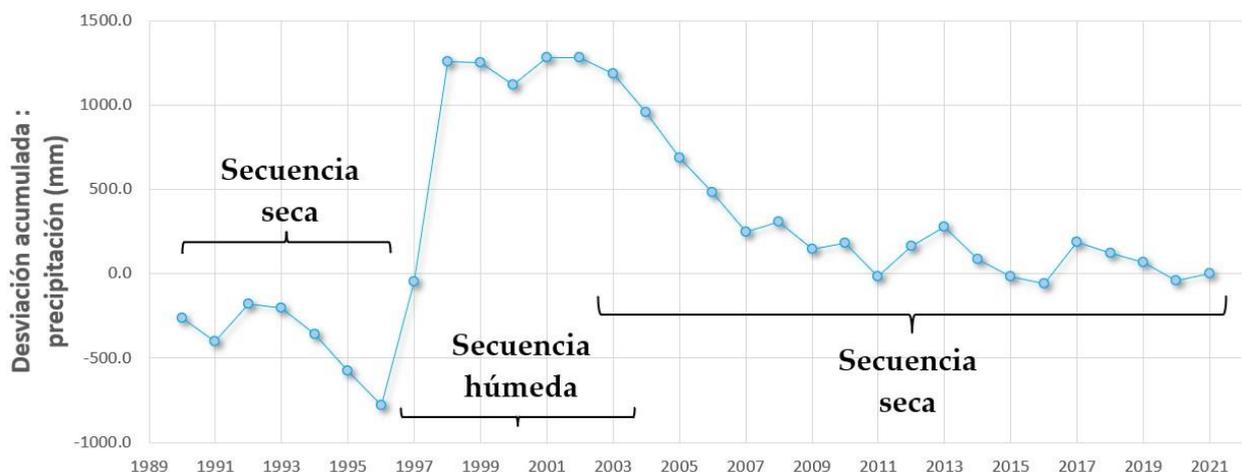


Figura 4.3 Secuencias secas y húmedas del área de influencia periodo 1990-2021.

4.3 Balance hídrico

Debido a que la comuna de Ayangue se encuentra dentro de un microclima de acuerdo con las Figuras 2.8 y 2.9, los valores de precipitaciones y temperaturas serán los mismos para las dos microcuencas presentes en el área. La capacidad de campo (Anexo 9 y 10) para cada microcuenca será diferente de acuerdo con la metodología descrita en la sección 3.5.2 y se encuentran detalladas en la tabla 4.1. Según la tabla 4.2 los meses

con mayores precipitaciones medias anuales son febrero y marzo y los meses secos corresponden al rango que va desde mayo hasta diciembre.

Tabla 4.1 Capacidad de campo máxima de las microcuencas del área de estudio

Microcuenca “Ayangue”	455.63 mm
Microcuenca “Río Viejo”	546.88 mm

Tabla 4.2 Balance hídrico de las microcuencas Ayangue y Río Viejo durante el periodo 1990-2021

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P	47.8	91.6	70.7	50.6	20.6	4.3	4.3	4.2	2.8	7.0	13.3	20.3	337.5
ETP	128.7	120.8	136.0	130.3	124.1	105.6	98.3	96.4	96.6	102.4	102.4	115.8	1357.4
ETR	47.8	91.6	70.7	50.6	20.6	4.3	4.3	4.2	2.8	7.0	13.3	20.3	337.5
Déficit	80.9	29.2	65.3	79.7	103.6	101.4	94.0	92.2	93.7	95.4	89.0	95.5	1019.9
Reserva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Excedentes	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

Según la tabla 4.2 la evapotranspiración potencial anual de las microcuencas “Ayangue” y “Río Viejo” es de 1019.9 mm, un valor elevado en comparación con la precipitación media anual que solo alcanza los 337.5 mm, indicando que todo el volumen anual de las precipitaciones es evapotranspirado, dejando así a la zona siempre en un estado de déficit a pesar de que en los meses de febrero y marzo este déficit se disminuya (Figura4.4).

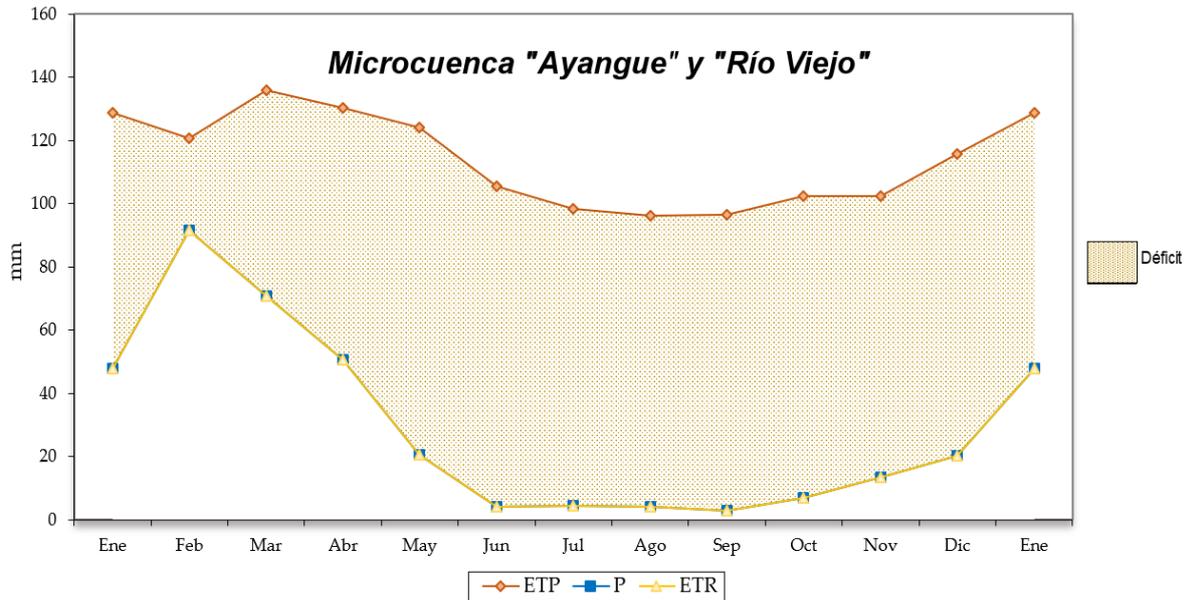


Figura 4.4 Balance hídrico mensual promedio de las microcuencas 1990-2021. ETP: Evapotranspiración Potencial, P: Precipitaciones, ETR: Evapotranspiración Real

Balance hídrico en secuencia seca

Para realizar este análisis se estableció un secuencia entre los años 1900 a 1996. En donde se determinó que la evapotranspiración anual es de 1133.6 mm y la precipitación media anual 226.2 mm, indicando que todo el volumen de precipitaciones no es suficiente para suplir la evapotranspiración anual de la zona (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Balance hídrico de las microcuencas en secuencia seca.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P	13.3	87.0	57.7	41.8	7.4	1.9	2.2	1.7	0.6	9.0	2.6	1.2	226.2
ETP	127.2	119.6	137.2	131.6	127.6	108.1	96.3	94.1	96.9	101.3	103.8	116.0	1359.8
ETR	13.3	87.0	57.7	41.8	7.4	1.9	2.2	1.7	0.6	9.0	2.6	1.2	226.2
Déficit	113.9	32.7	79.5	89.8	120.3	106.3	94.1	92.4	96.3	92.3	101.2	114.8	1133.6
Reserva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Excedentes	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

En la figura 4.5 se observa que el mes de febrero cuenta con los valores más altos de precipitación mensual (87 mm), pero este valor no suficiente para sobrepasar la

evapotranspiración que está presente durante todo el periodo en la zona provocando constante déficit.

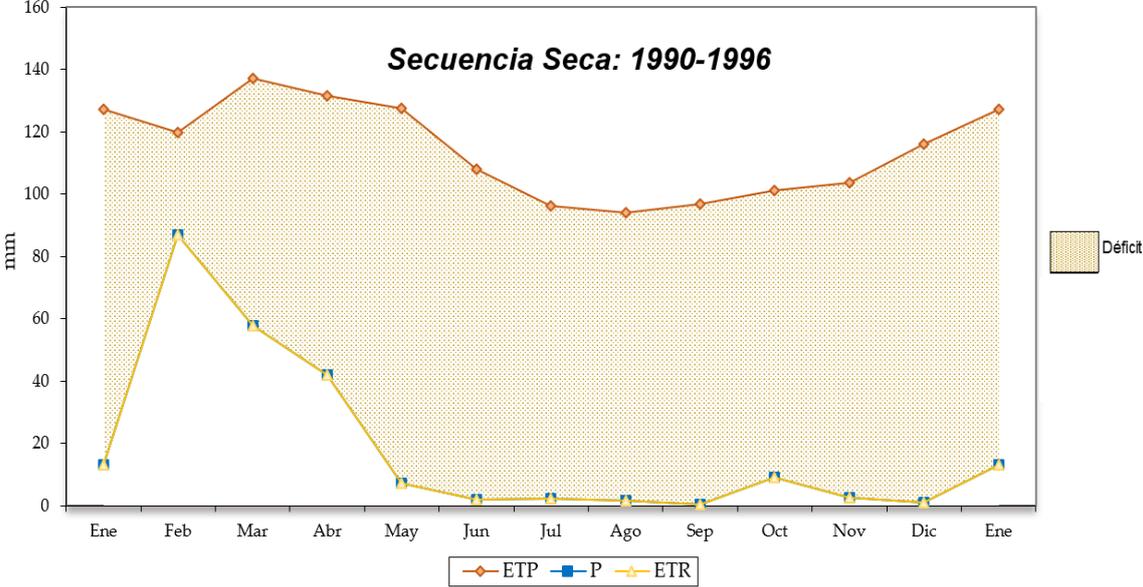


Figura 4.5. Balance hídrico mensual promedio de la secuencia seca de 1990-1996. ETP: Evapotranspiración Potencial, P: Precipitaciones, ETR: Evapotranspiración Real

Balance hídrico en secuencia húmeda

En este análisis la evapotranspiración anual alcanzó el valor de 745.6 mm y la precipitación media anual 618.2 mm. Según los resultados de la (tabla 4.4), el mes de febrero sobrepasa el límite de evapotranspiración en la zona y generando así valores de almacenamientos y excedentes en el suelo. En los meses de marzo y abril se utilizaron las reserva, y a partir del mes de abril hasta diciembre se presenta déficit en el área (Figura4.6).

Tabla 4.4 Balance hídrico de las microcuencas en secuencia húmeda.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
P	57.4	147.6	120.9	92.6	48.9	6.1	8.8	7.4	2.7	7.6	45.0	73.3	618.2
ETP	128.0	121.7	137.4	133.7	123.7	103.7	96.6	96.4	95.9	104.3	104.5	117.8	1363.8
ETR	57.4	121.7	137.4	102.0	48.9	6.1	8.8	7.4	2.7	7.6	45.0	73.3	618.2
Déficit	70.6	0.0	0.0	31.7	74.9	97.6	87.8	89.1	93.2	96.8	59.5	44.6	745.6
Reserva	0.0	25.9	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.3
Excedentes	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

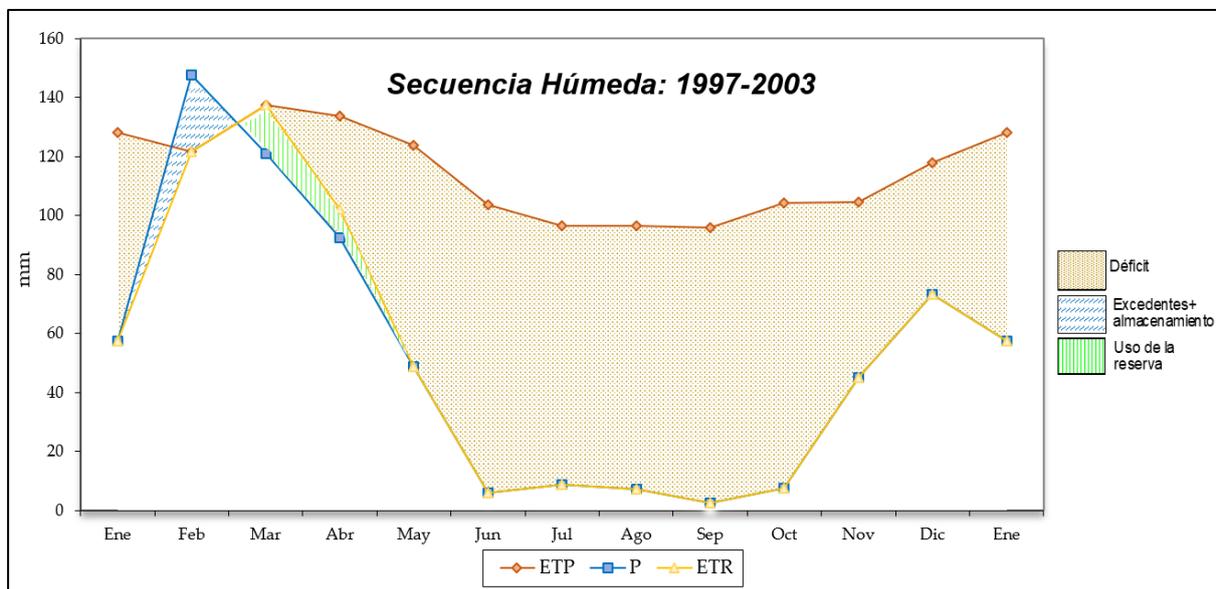


Figura 4.6 Balance hídrico de la secuencia húmeda de 1997-2003. ETP: Evapotranspiración Potencial, P: Precipitaciones, ETR: Evapotranspiración Real.

4.4 Mapa de posibles zonas de agua subterránea

La elaboración del mapa de posibles zonas de agua subterránea se realizó a partir de la combinación de mapas de factores condicionantes y factor desencadenante, siguiendo la metodología explicada en la sección 3.4.2 (Reclasificación y valoración de parámetros de infiltración de agua). Para esto se procedió a la elaboración de los mapas de cada factor que interfieren en la infiltración y recarga de agua subterránea.

La litología(L) es un factor que influye en gran medida en la recarga subterránea y determina el almacenamiento de agua en las rocas, en la zona de estudio se presentan

las siguientes unidades geológicas permeables por porosidad intergranular: Depósitos aluviales, Depósitos Coluviales, Depósitos coluvio aluviales, Depósitos marinos, Formación Tablazo, Miembro Zapotal y permeables por porosidad intergranular y fisuración sin importancia hidrogeológica a Miembro Dos Bocas. La reclasificación realizada (Figura 4.7) refleja que, en la zona, el 6.85% corresponde a un muy alto potencial para la recarga de agua subterránea, el 8.36% a un potencial alto, el 77.11% a un potencial medio y finalmente el 7.68% le corresponde a un potencial bajo. Lo que evidencia que hay un mayor porcentaje de potencial medio a recarga de agua subterránea valorando las unidades geológicas en la zona de estudio.

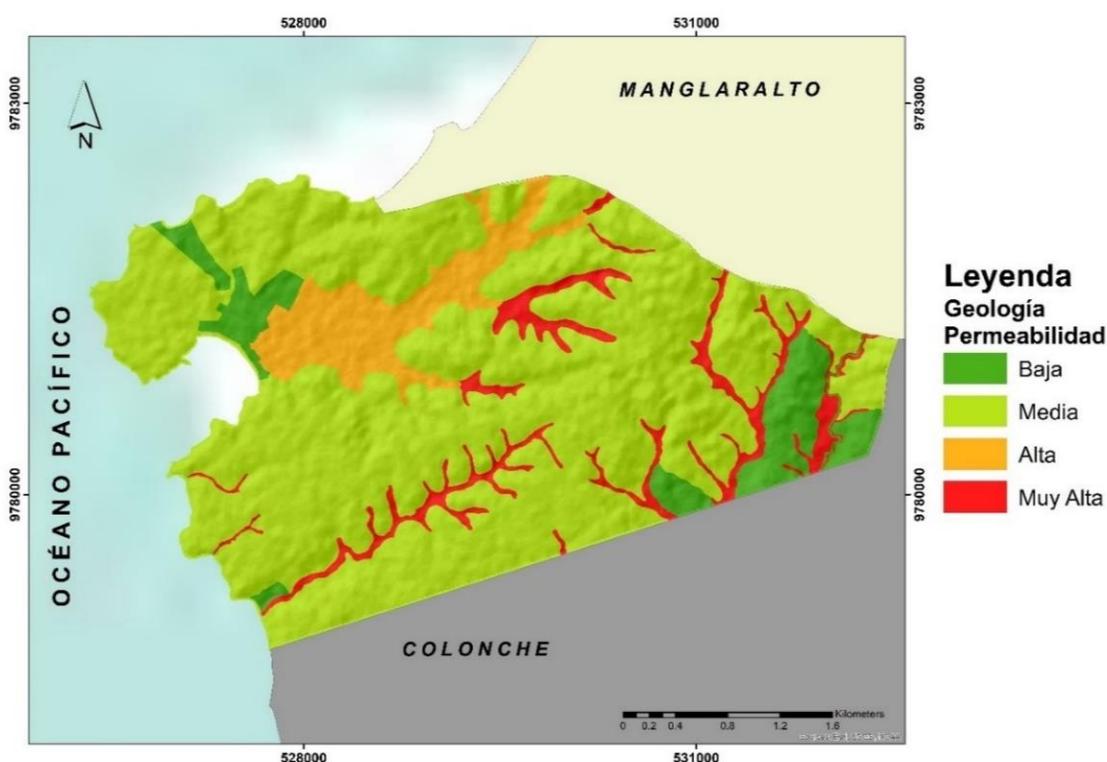


Figura 4.7 Mapa de reclasificación factor condicionante: Litología

El uso y cobertura de suelo (LULC) juega un papel fundamental en la determinación de la intercepción de la precipitación y la escorrentía, siendo esencial en la evapotranspiración y por ende en el equilibrio hidrológico de la zona (Aloui et al., 2022). El uso y cobertura del suelo que caracteriza la zona está dado por las siguientes categorías: Tierras improductivas, agua, antrópico, conservación y protección, conservación y protección o pecuario, agropecuario mixto y agrícola. La reclasificación (Figura 4.8) evidencia que, en la zona, el 0.15% equivale a un muy alto potencial para la

recarga de agua subterránea, el 6.22% a un potencial alto, el 83.11% a un potencial medio y finalmente el 10.52% le corresponde a un potencial bajo. Dando como resultado que hay un mayor porcentaje de potencial medio a recarga de agua subterránea valorando la cobertura y uso de suelo en la zona de estudio.

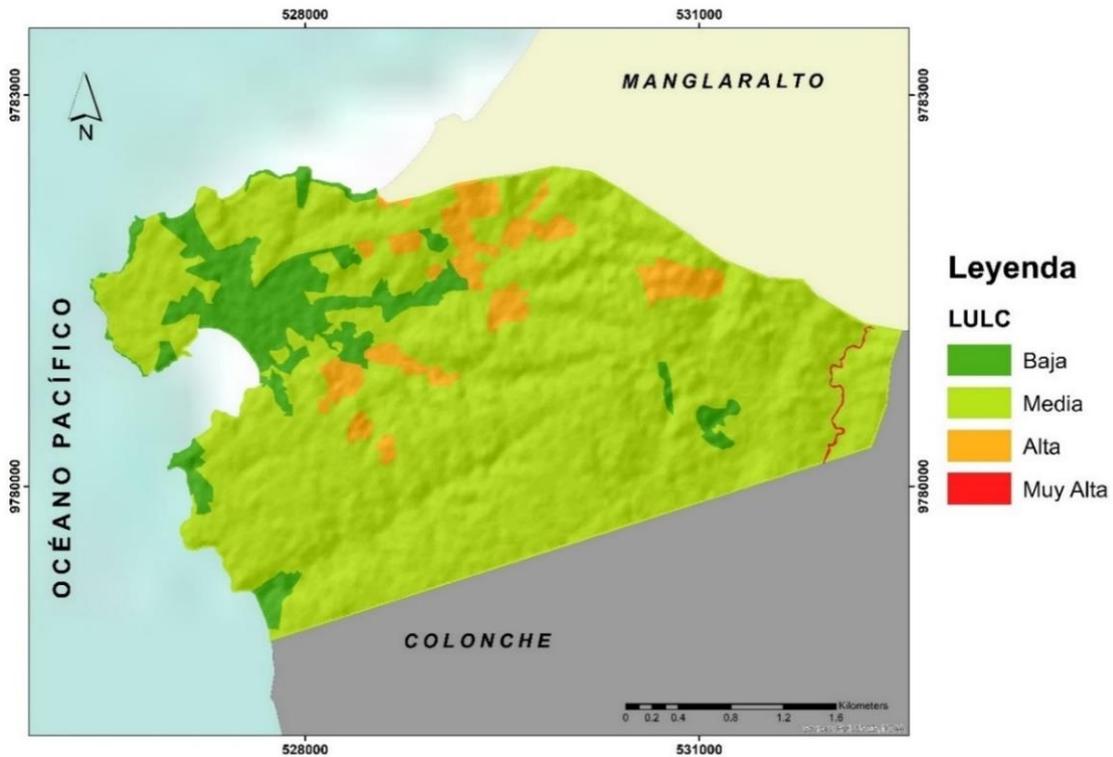


Figura 4.8 Mapa de reclasificación factor condicionante: Cobertura y uso de suelo

Las pendientes (P) bajas favorecen la recarga de agua subterránea dado que a menor pendiente las escorrentías son más lentas y por ende permite que el agua se infiltre en el subsuelo (Valencia, 2017). La pendiente de la zona se clasifica según su relieve en las siguientes categorías: Plano, suave, mediano, accidentado, fuerte, muy fuerte y escarpado. La reclasificación (Figura 4.9) efectuada indica que, en la zona, el 35.34% equivale a un muy alto potencial para la recarga de agua subterránea, el 28.5% a un potencial alto, el 25.16% a un potencial medio y finalmente el 11% le corresponde a un potencial bajo. Dando como resultado que hay un porcentaje con muy alto potencial de recarga de agua subterránea valorando la pendiente en la zona de estudio.

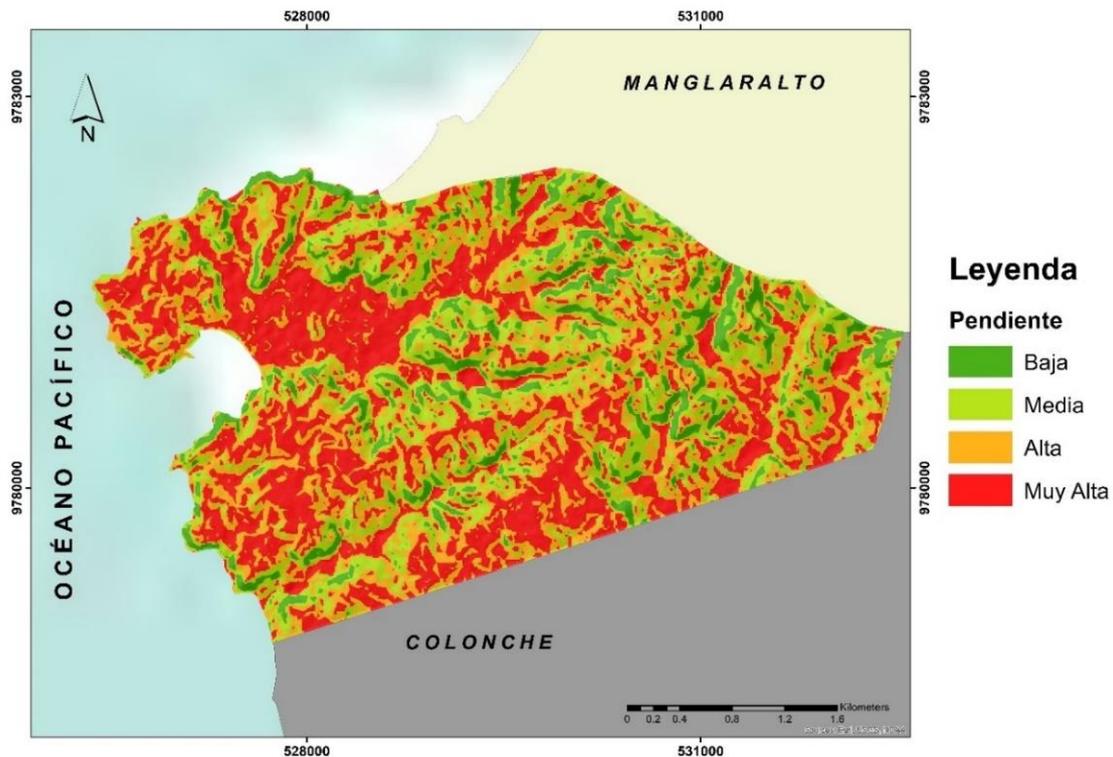


Figura 4.9 Mapa de reclasificación factor condicionante: pendiente

La textura del suelo (TS) es el primer horizonte por donde pasa el agua infiltrada, por eso su papel es importante para la recarga de agua subterránea en la zona, el suelo arcilloso impermeable causa más escorrentía a diferencia que el suelo con grava o arenoso (Hussaini et al.2022). En la zona de estudio se presentan las siguientes texturas de suelos: arcilloso, franco arcilloso, franco, franco limoso, franco arenoso y arenoso. En la Figura 4.10 se observa que la reclasificación realizada refleja en la zona que el 9.68% equivale a un muy alto potencial para la recarga de agua subterránea, el 15.43% a un potencial alto, el 9.43% a un potencial medio y finalmente el 65.46% le corresponde a un potencial bajo. Dando como resultado que en la zona de estudio valorando la textura de suelo, existe mayor porcentaje de áreas con bajo potencial de recarga de agua subterránea.

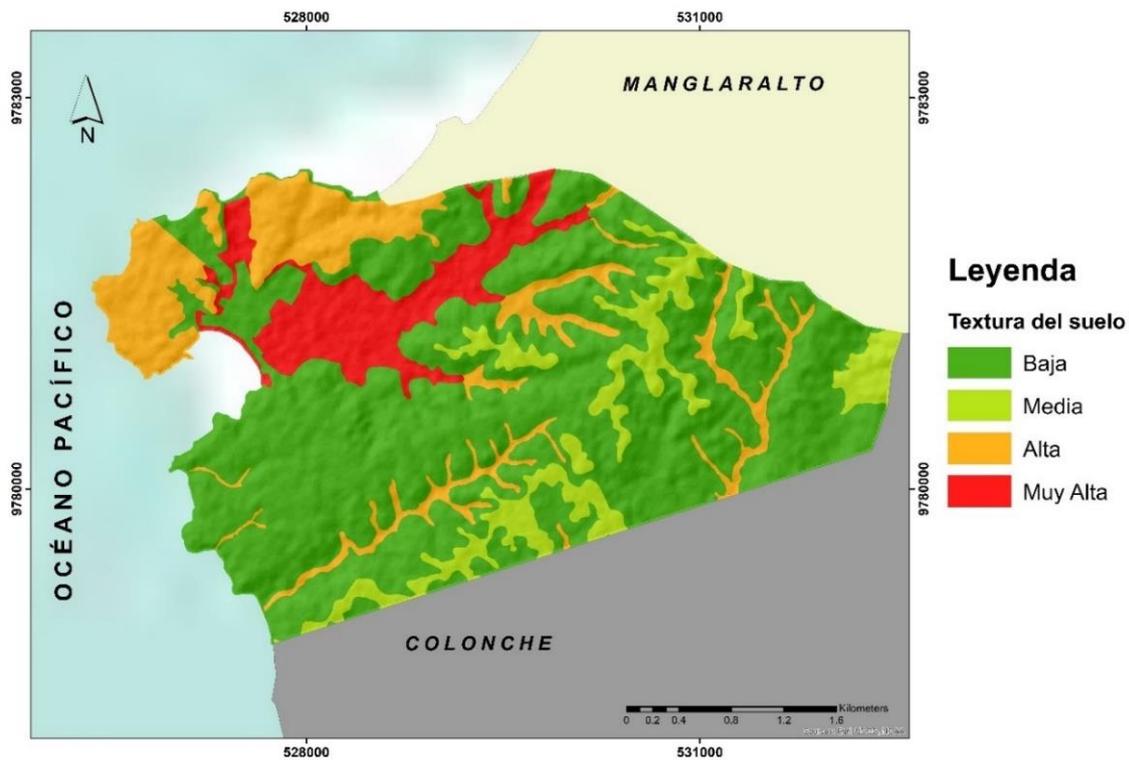


Figura 4.10 Mapa de reclasificación factor condicionante: Textura de suelo

La densidad de falla (DF) juega un papel importante en la infiltración del agua dado que el área que presenta mayor densidad favorece la recarga subterránea a través de su fracturamiento permitiendo que el agua pueda infiltrarse incluso hasta varios kilómetros de profundidad en la zona de estudio (Aloui et al., 2022).

En la Figura 4.11 se observa que la reclasificación realizada indica que, en la zona, el 6.31% equivale a un muy alto potencial para la recarga de agua subterránea, el 5.49% a un potencial alto, el 6.37% a un potencial medio y finalmente el 81.82% le corresponde a un potencial bajo. En la zona de estudio solo se evidencia fallas en el Este, por ende, el porcentaje de áreas con bajo potencial de recarga de agua subterránea es mayor.

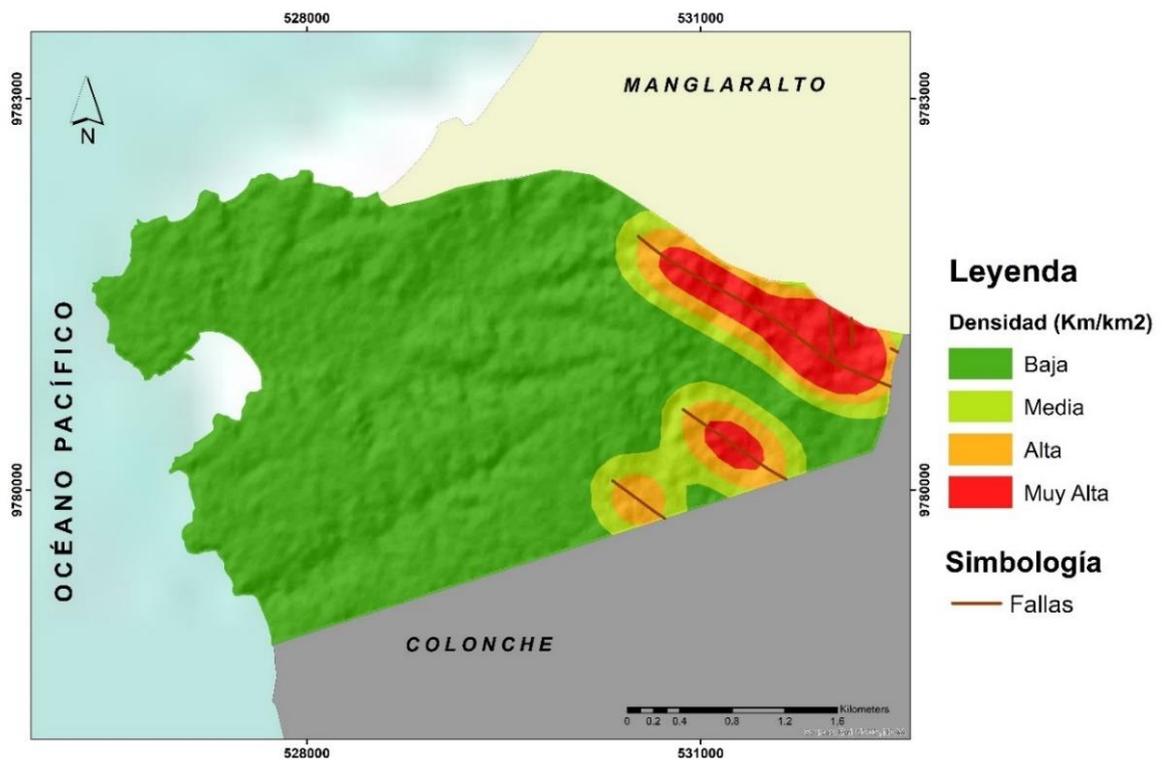


Figura 4.11 Mapa de reclasificación factor condicionante: densidad de falla

La densidad de drenaje (DD) es un factor inversamente proporcional dado que a mayor densidad de drenaje menor es el potencial de recarga de aguas subterráneas debido a se presenta más escorrentía en la superficie de la zona (Tapia et al., 2022). En la Figura 4.12 se observa que la reclasificación realizada refleja que, en la zona, el 70.16% equivale a un muy alto potencial para la recarga de agua subterránea, el 9.88% a un potencial alto, el 16.12% a un potencial medio y finalmente el 3.84% le corresponde a un potencial bajo. Por lo cual tomando como referencia el factor de densidad de drenaje se obtiene que el mayor porcentaje corresponde a un alto potencial de recarga de agua subterránea en la zona de estudio.

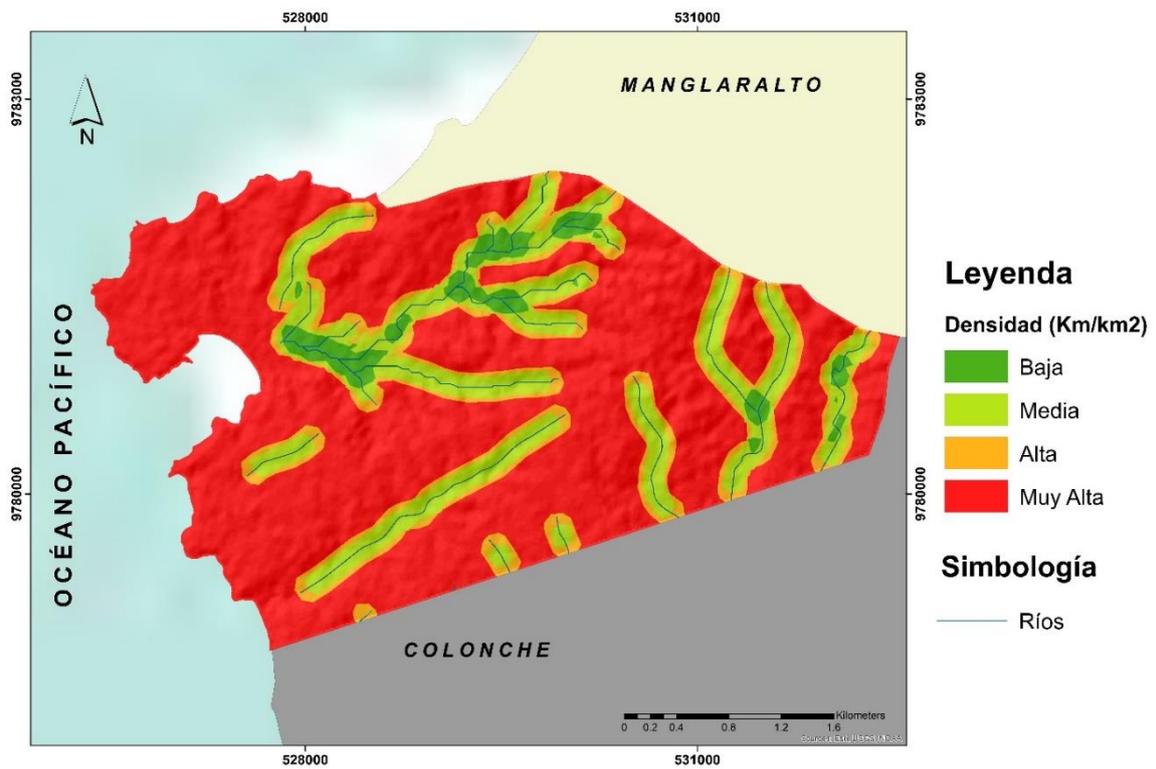


Figura 4.12 Mapa de reclasificación factor condicionante: densidad de drenaje

La precipitación es el factor que influye de manera directa en la presencia de agua subterránea en la zona. En la localidad se presenta precipitaciones medias anuales valoradas como potencial medio para la recarga de agua subterráneas, ver Figura 4.13.

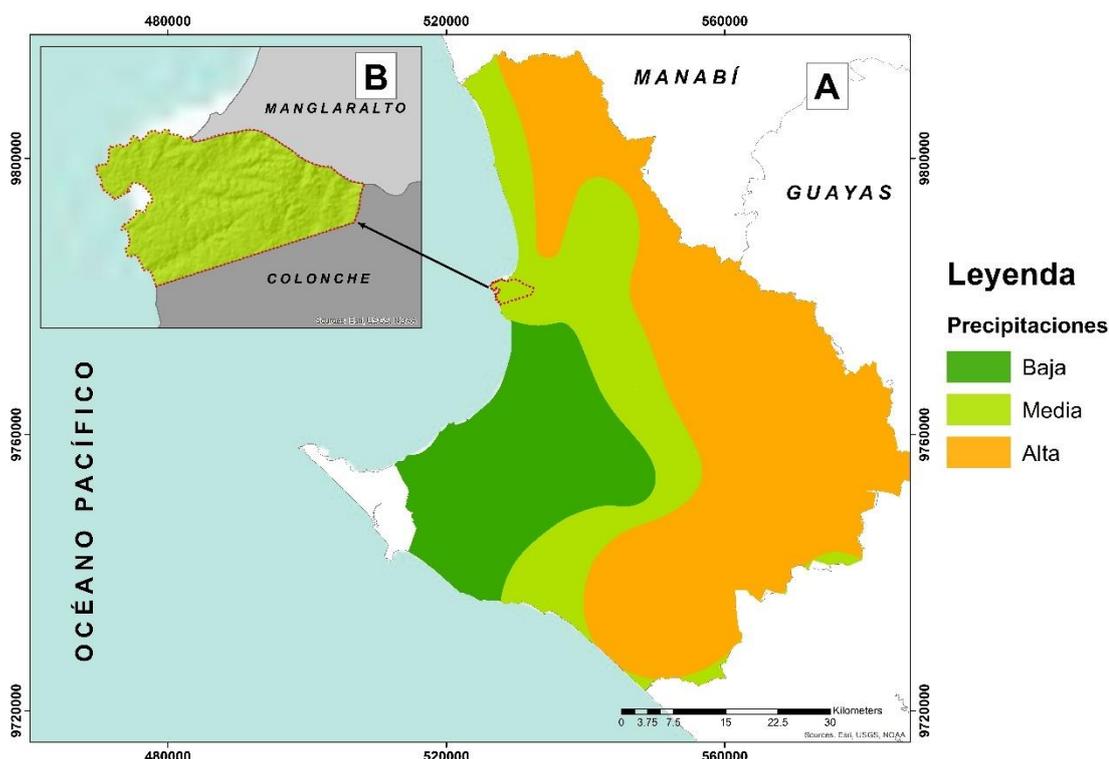


Figura 4.13 Mapa de reclasificación factor desencadenante: A) Precipitación del Cantón Santa Elena. B) Precipitación de la zona de estudio

El mapa de zonas potenciales de agua subterránea considerando los factores condicionantes se observa en la Figura 4.14, para la obtención del presente mapa se procedió a sumar los factores valorados según su nivel de influencia en la infiltración y recarga de agua subterránea, aplicando la ecuación 3.1 de la sección 3.4.2 (Reclasificación y valoración de parámetros de infiltración de agua). Con este resultado se refleja que, en la zona, el 14.20% equivale a un muy alto potencial para la recarga de agua subterránea, el 24.91% a un potencial alto, el 54.21% a un potencial medio y finalmente el 6.68% le corresponde a un potencial bajo. Por lo cual tomando como referencia la combinación de los factores condicionantes se obtiene que el mayor porcentaje corresponde a un potencial medio de recarga de agua subterránea en la zona de estudio.

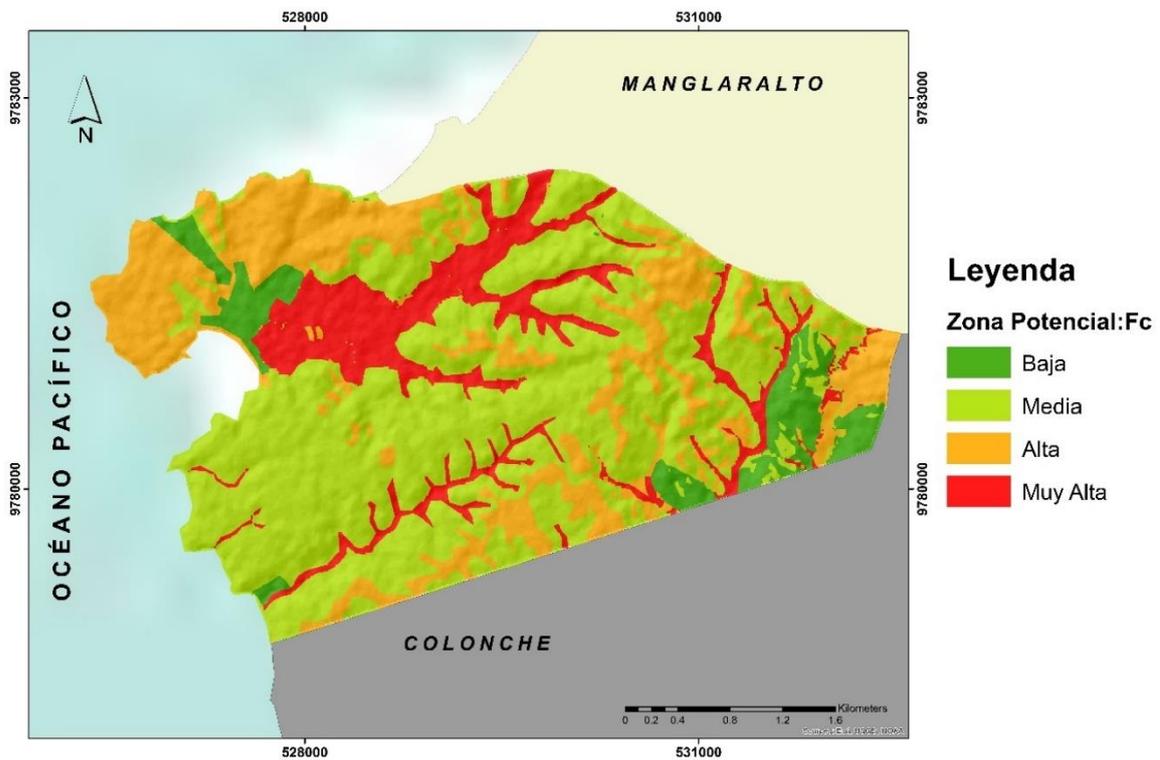


Figura 4.14 Mapa de factores condicionantes

Finalmente, se aplicó la ecuación 3.9 de la sección 3.5.3 (Mapa de zonas potenciales de agua subterránea) en el programa ArcMap. Esta ecuación combina el mapa de los factores condicionantes con el mapa de factor desencadenante, sin embargo, la precipitación media anual de la zona de estudio es la misma en toda el área, por ende al realizar el procesamiento de datos en el programa ArcMap, no se evidencia variación respecto a las zonas potenciales categorizadas como bajas, medias, altas y muy altas, que tienen la siguiente distribución en la zona, el 6.68%, 54.21%, 24.91% y 14.20%, respectivamente. En la Figura 4.15, se observa que las zonas que presentan un muy alto potencial de agua subterránea son los Depósitos aluviales, Depósitos coluvio aluviales el que pasan los afluentes tales como el río Ayangué, río Viejo y drenajes menores de la zona de estudio, que se caracterizan por tener pendientes bajas y ciertas zonas con alto potencial en Miembro Zapotal y Formación Tablazo. Las zonas categorizadas como altas y muy altas en potencial evidencian la gran influencia en la infiltración y recarga de agua subterránea, que tienen los factores considerados en la matriz ponderada de jerarquización de Satty (1980).

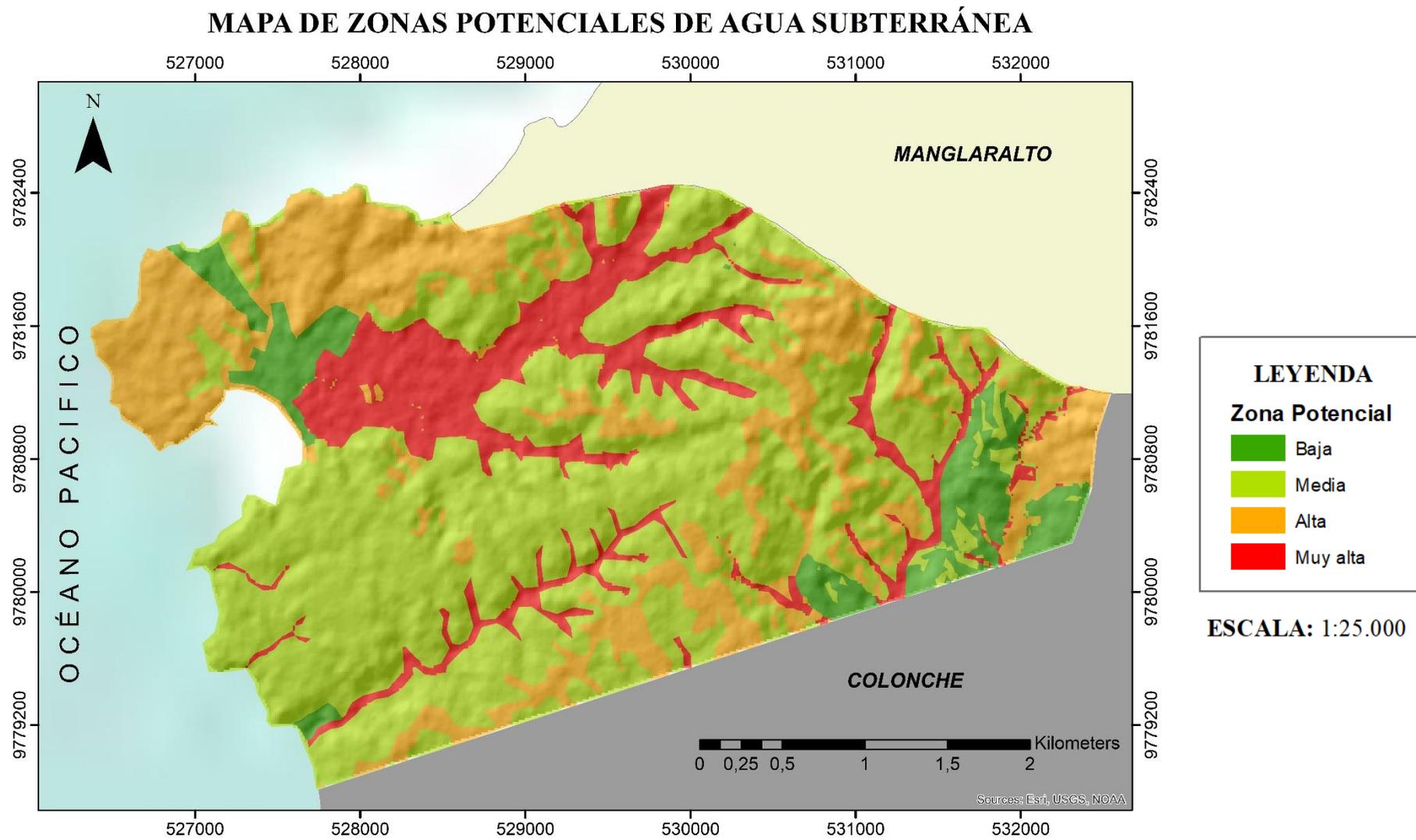


Figura 4.15 Mapa de zonas potenciales de agua subterránea.

4.5 Descripción geológica

En esta sección se presenta los datos del levantamiento litológico y estructural del área de estudio. A continuación, se presenta la recopilación litológica obtenida en campo de los afloramientos y pozos (Figura 4.16, Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19 y Figura 4.20) por medio de columnas estratigráficas con su respectiva descripción (Tabla 4.5, Tabla 4.6, Tabla 4.7, Tabla 4.8, Tabla 4.9).

Afloramiento N°1

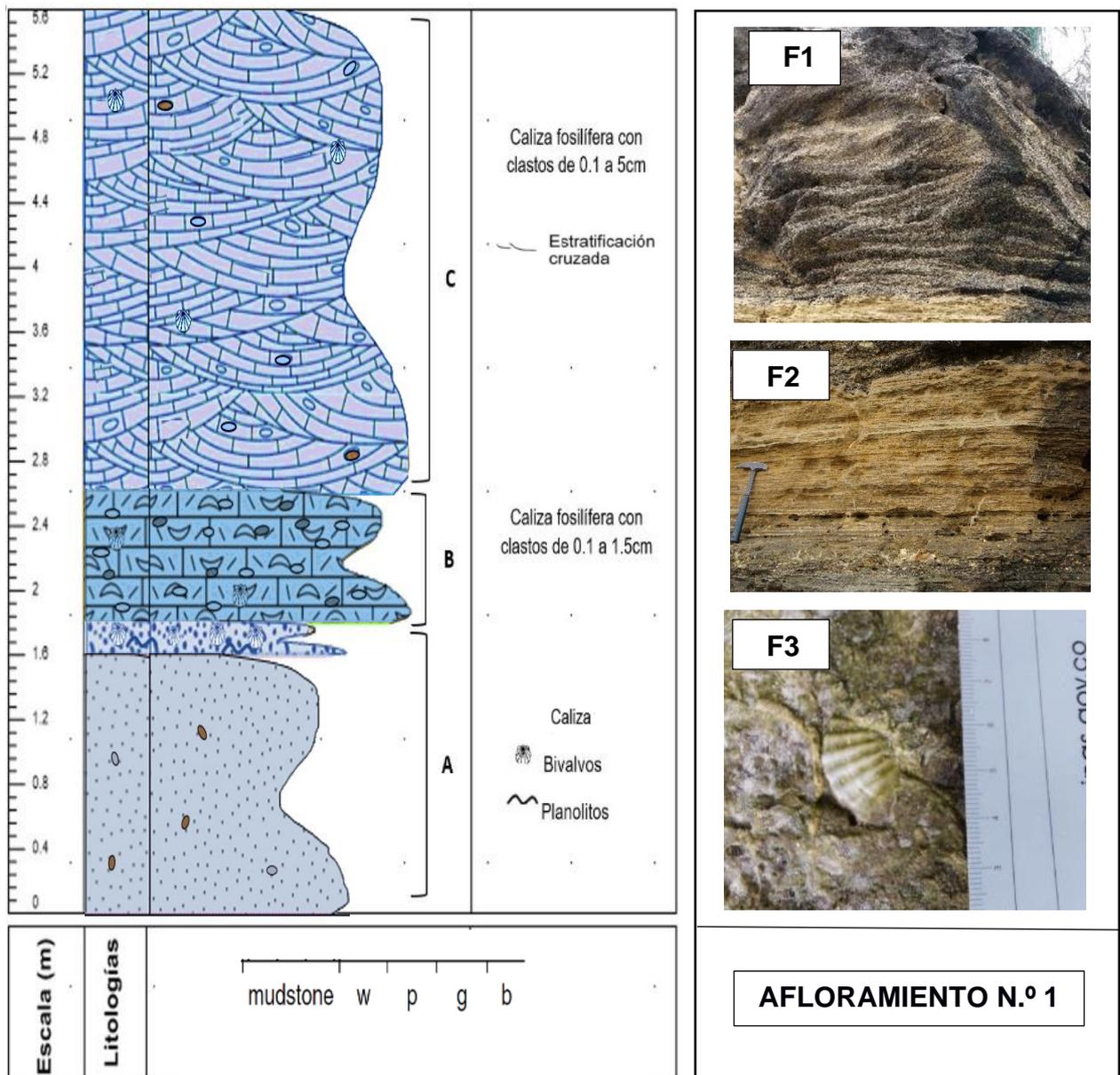


Figura 4.16 Columna estratigráfica del afloramiento N°1. F1) Techo del afloramiento. F2) Estrato B. F3) Base del afloramiento.

Tabla 4.5 Descripción estratigráfica del afloramiento N°1

Coordenadas		527189 E 9781142 N
WGS 1984 UTM		
Zona 17S		
Elevación		0 m.s.n.m
Nivel	Descripción	
A	<p>Espesor de: 1.80 metros</p> <p>Nivel masivo de caliza "Mudstone" de color gris claro, presentan < 3% guijarros con horizontes de menor energía de 0.5 a 2 cm, se registran planolitos (icnofacie de tipo "Feeding Burrow") y fragmentos de conchas de bivalvos a partir de 1.60 m del afloramiento. De contacto gradacional con el nivel posterior. Matriz soportada. Clasificación buena, esfericidad y redondez media.</p>	
B	<p>Espesor: 0.80 metros</p> <p>Nivel masivo de calizas fosilíferas "Packstone" denominada "coquina" de color café amarillento presenta 80% guijarros de 0.1 a 1.5 cm, mal sorteados subredondeados y media esfericidad. De contacto neto con el nivel posterior.</p>	
C	<p>Espesor: 3.00 metros</p> <p>Nivel masivo de calizas fosilíferas "Packstone" denominada "coquina" de color naranja rosa moderado presenta <10 % guijarros de 0.1 a 5 cm, moderadamente clasificados, subangulosos y baja esfericidad. Estratificación cruzada.</p>	

Afloramiento N°2

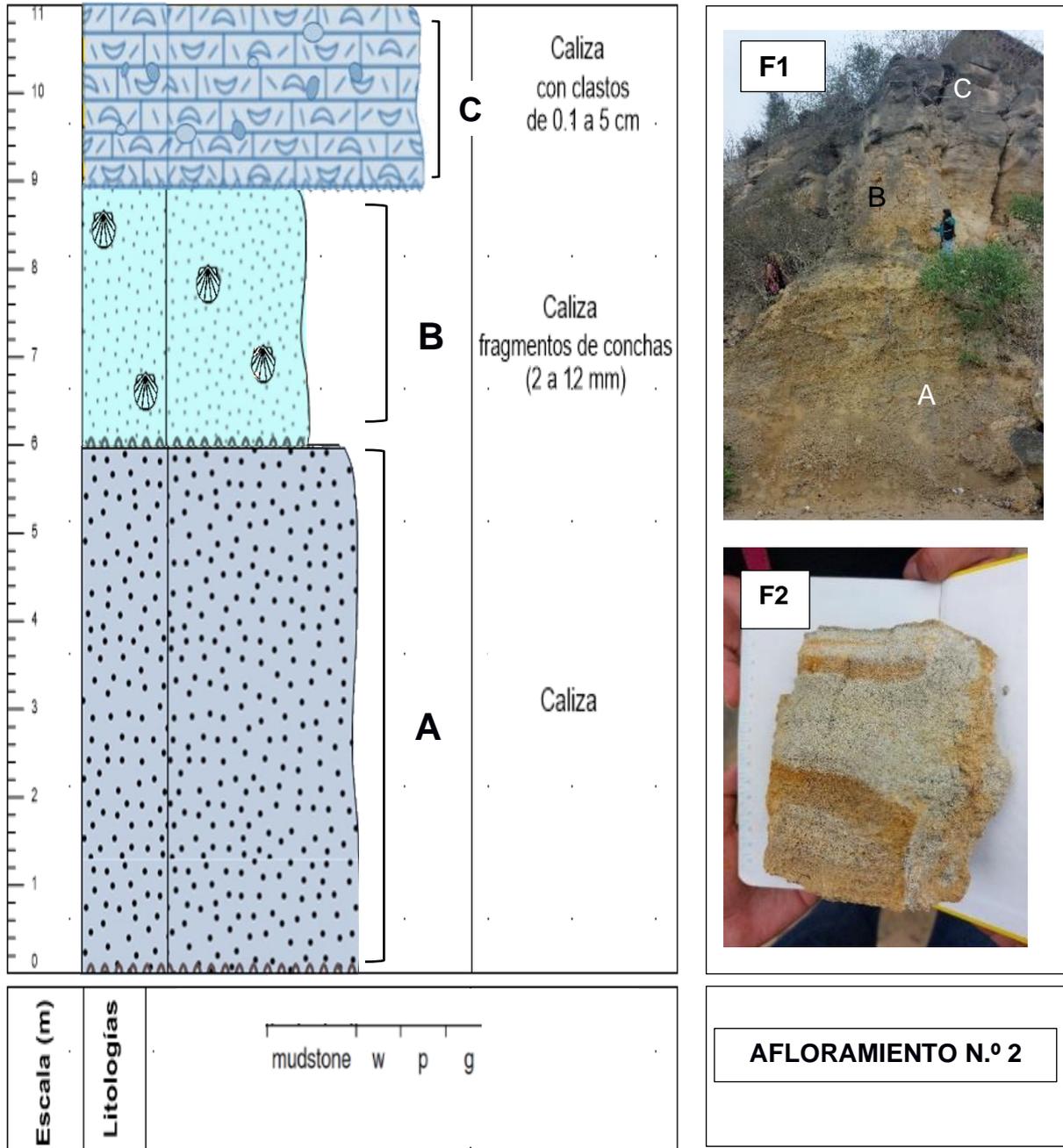


Figura 4.17 Columna estratigráfica del afloramiento N°2. F1) Afloramiento N°2. F2) Muestra del nivel A.

Tabla 4.6 Descripción estratigráfica del afloramiento N°2

Coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17S		527623E 9780758N
Elevación		0 m.s.n.m
Nivel	Descripción	
A	<p>Espesor: 6 metros</p> <p>Nivel masivo de caliza de grano medio "Mudstone", deleznable de color gris claro. De contacto erosivo tanto en su base como en el techo. Cemento carbonático. Bien clasificado con clastos de esfericidad media, subangulosos.</p>	
B	<p>Espesor: 3 metros</p> <p>Nivel masivo de caliza de grano fino "Mudstone" de color beige, presenta <10 % fragmentos de conchas que van de 2 a 12 mm. De contacto erosivo con el nivel posterior. Matriz soportada carbonática. Clasificación buena, esfericidad y redondez media.</p>	
C	<p>Espesor: 3 metros</p> <p>Nivel masivo de calizas fosilíferas "coquina" de color café claro presenta <30 % guijarros de 0.1 a 5 cm, moderadamente clasificados, subredondeados y alta esfericidad.</p>	

Pozo N°1

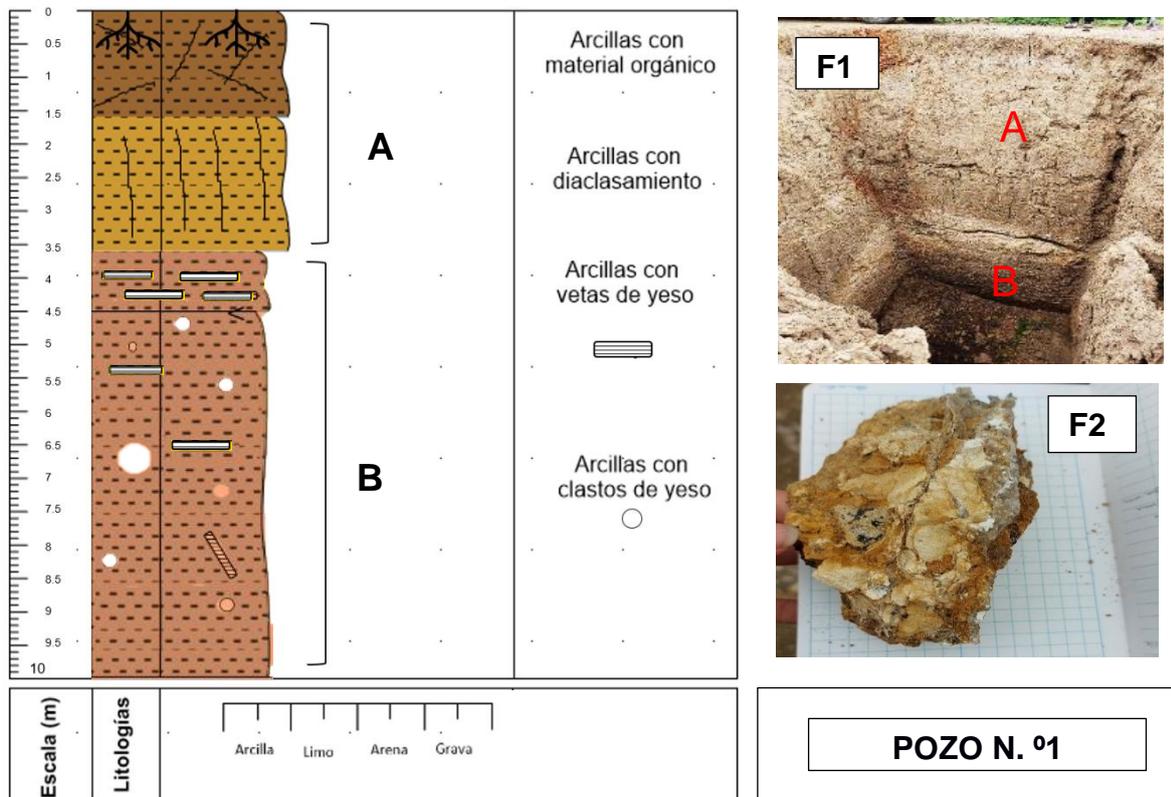


Figura 4.18 Columna estratigráfica del pozo N°1. F1) Pozo N°1. F2) Muestra del nivel B.

Tabla 4.7 Descripción estratigráfica del pozo N°1

Coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17S		529492 E 9781430N	Elevación	25 m.s.n.m
Nivel	Descripción			
A	Espesor: 3.60 m Nivel masivo de arcilla deleznable de color café claro. Textura arcillosa. Matriz soportado. Moderadamente clasificada.			
B	Espesor: 6.40 metros Nivel de masivo de arcilla de color café naranja, presenta vetillas de yeso y clastos de yeso. De contacto erosivo con el nivel posterior.			

Pozo N°2

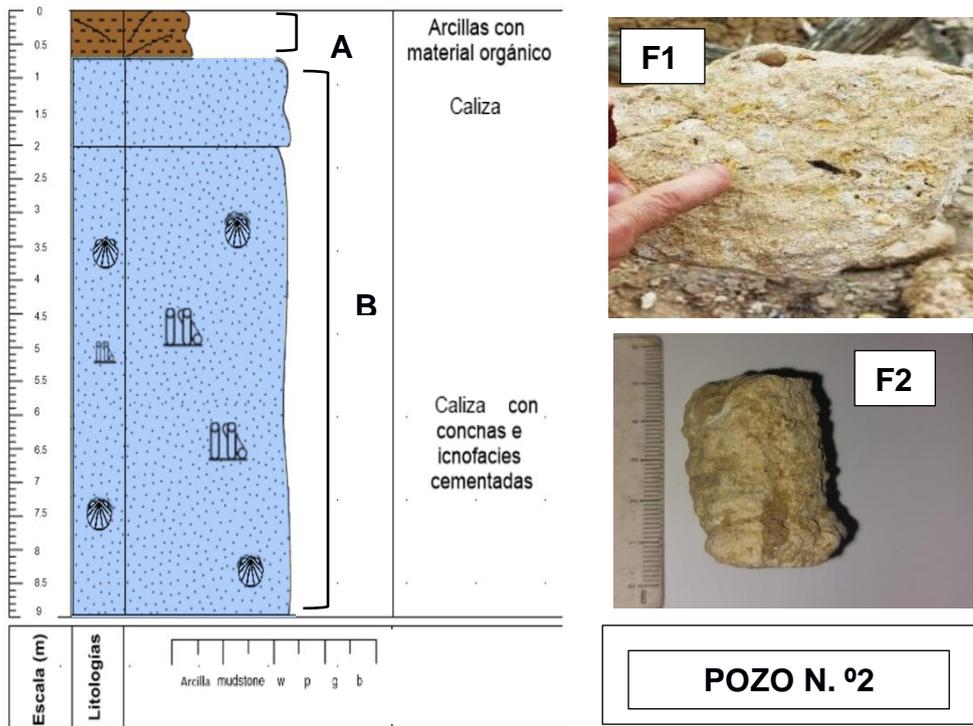


Figura 4.19 Columna estratigráfica del pozo N°2. F1) Muestra del Nivel B F2) Icnofacie: “Ophiomorpha Burrow”.

Tabla 4.8 Descripción estratigráfica del pozo N°2

Coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17S		528421 E 9779547N	Elevación	35 m.s.n.m
Nivel	Descripción			
A	Espesor: 0.70 metros Nivel de masivo de arcilla de color café oscuro. Presenta material orgánico (raíces).			
B	Espesor: 8.30 m Nivel masivo de arenisca calcárea de color beige con presencia de fragmentos de bivalvos “cristellaria” e icnofacies carbonaticas “Ophiomorpha Burrow” y presenta <20 % guijarros subredondeados y esfericidad. De contacto erosivo con el nivel posterior. Matriz soportado. Moderadamente clasificada.			

Afloramiento N°3

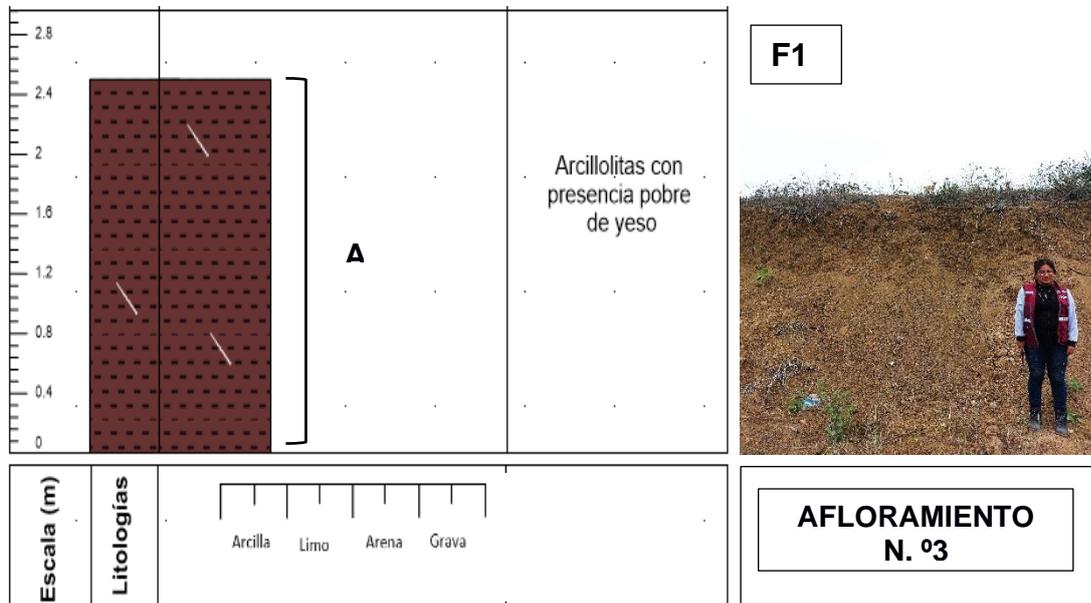


Figura 4.20 Columna estratigráfica del afloramiento N°3. F1) Afloramiento N°3.

Tabla 4.9 Descripción estratigráfica del pozo N°2

Coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17S	529874 E 9782245 N
Elevación	40 m.s.n.m
Nivel	Descripción
A	<p>Espesor: 2.50 m</p> <p>Nivel masivo de arcillolitas deleznales de color chocolate. Con presencia <2% de yeso. Matriz soportada.</p>

Datos estructurales

La tabla 4.10 muestra la recopilación de datos estructurales tomados en campo. Los datos fueron tomados en la línea de playa "Ayangué",

Tabla 4.10 Datos estructurales de las estaciones.

	Rumbo	Buzamiento	Coordenadas
E1	195	29 NO	527201 E 9781195 N
E2	181	10 NO	527189 E 9781142 N
E3	125	34 NE	527189 E 9781142 N
E4	28	20 SO	527623 E 9780758

En esta sección también se presentan los resultados de los ensayos de granulometría (Figura 4.21, Figura 4.22, Figura 4.23), porosidad y permeabilidad en la Tabla 4.11. Para realizar estos ensayos se tomaron tres muestras (Calicatas) de diferentes unidades geológicas de la zona de estudio (Figura 4.24).

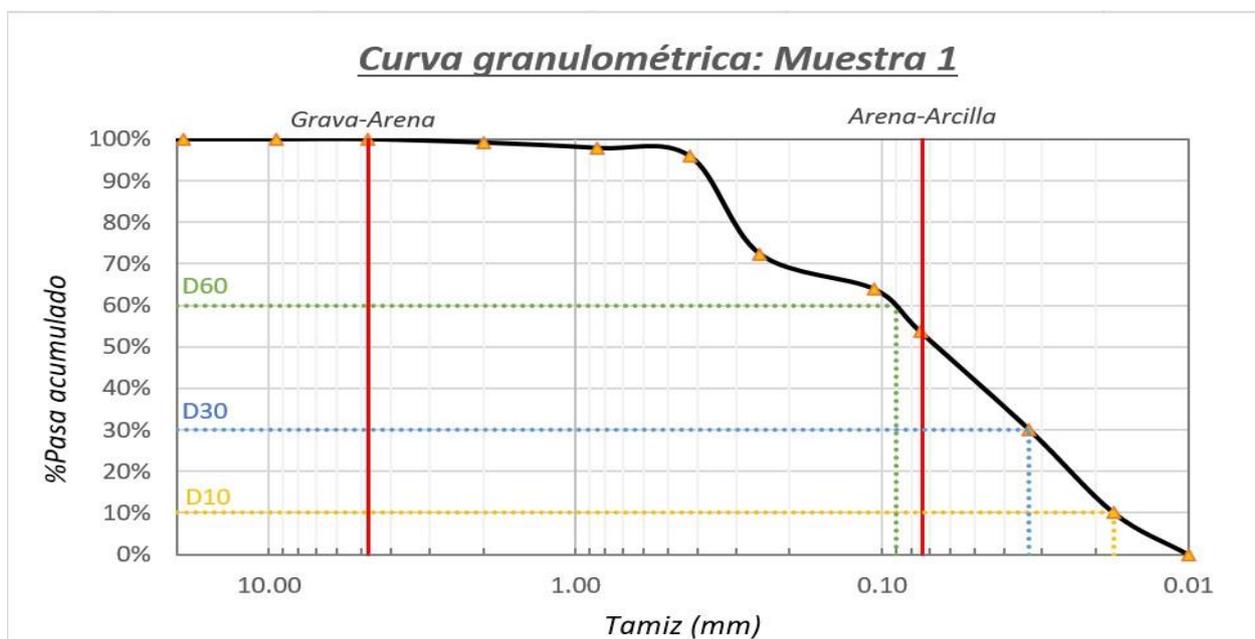


Figura 4.21 Curva Granulométrica: Muestra 1

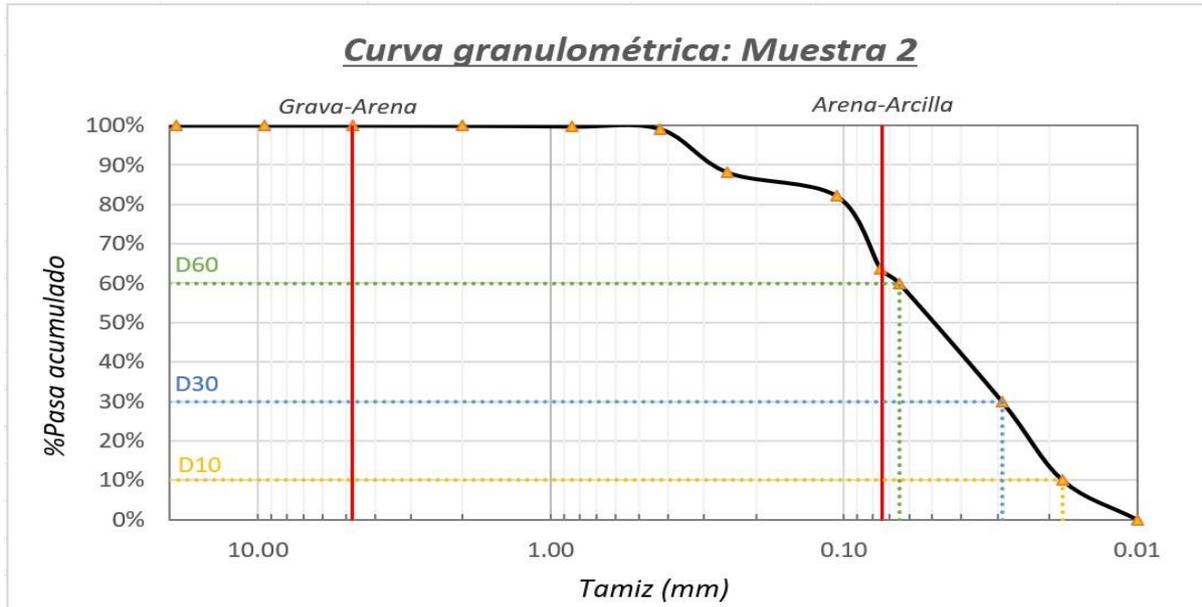


Figura 4.22 Curva Granulométrica: Muestra 2

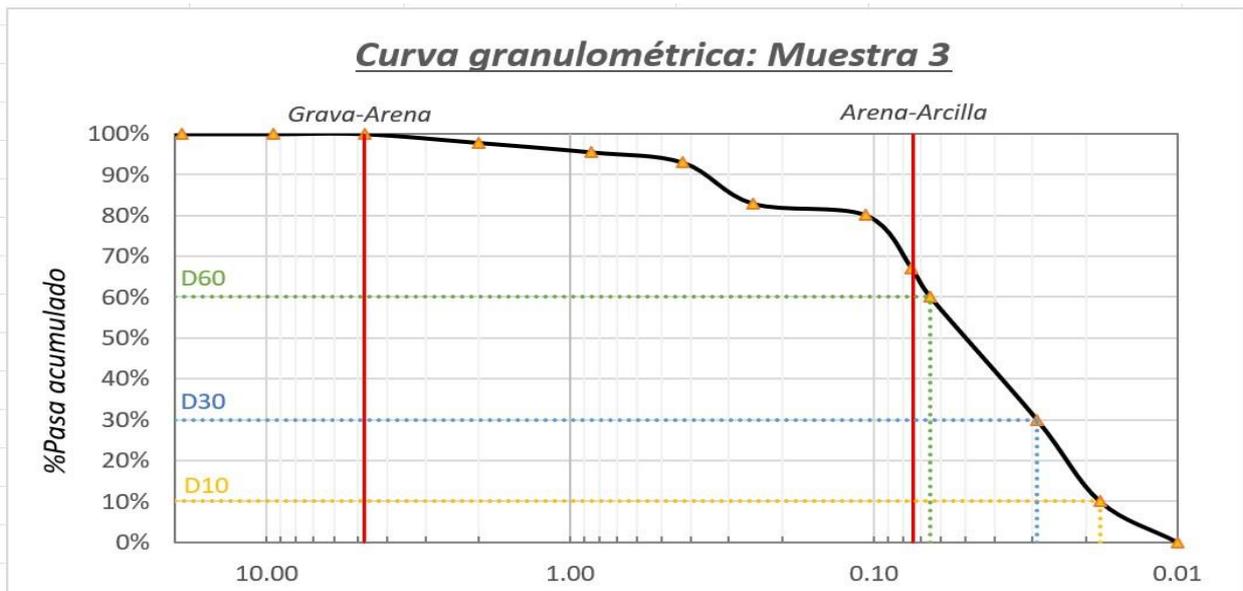


Figura 4.23 Curva Granulométrica: Muestra 3

Con el ensayo de granulometría se determinó que la muestra 1, 2 y 3 presenta arenas y material fino de limo con arcilla. La muestra 1 tiene un porcentaje de material fino menor al 12%, clasificando así su gradación como una arena mal gradada, a diferencia de la muestra 2 y 3 que no fue posible realizar su clasificación por superar el 12% del material fino. Con los ensayos de permeabilidad y porosidad se obtuvo una clasificación más específica, detallando que la muestra 1 es suelo arenoso arcilloso, la muestra 2 es suelo arenoso arcilloso y finalmente la muestra 3 es suelo arenoso limoso con presencia arcilla.

Tabla 4.11 Resultado de granulometría, permeabilidad y porosidad de muestras de suelo

Ensayo de granulometría, permeabilidad y porosidad			
Muestra	1	2	3
Coordenadas WGS 1984 UTM	528655	528744	529715
Zona 17S	9780168	9781744	9781364
Granulometría	Gravas %	0	0
	Arenas %	36.08	17.88
	Finos %	10.26	18.59
	CU	7.43	3.71
	CC	0.48	0.90
Permeabilidad (m/s)	$7.44 * 10^{-8}$	$3.10 * 10^{-7}$	$1.54 * 10^{-7}$
Porosidad	0.69	0.63	0.69

En la figura 4.24 se presenta el mapa final del levantamiento de campo. Para llevar a cabo el diseño del mapa se tomó en cuenta la guía del año 2005 de la USGS (U.S. Geological Survey, 2016) para determinar los colores y simbología de la litología presente en la zona. Este mapa es realizado a partir de la Geodatabase del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE, 2012), información de Pacifpetrol y del levantamiento de campo en la zona de estudio.

MAPA GEOLÓGICO DE LA COMUNA AYANGUE

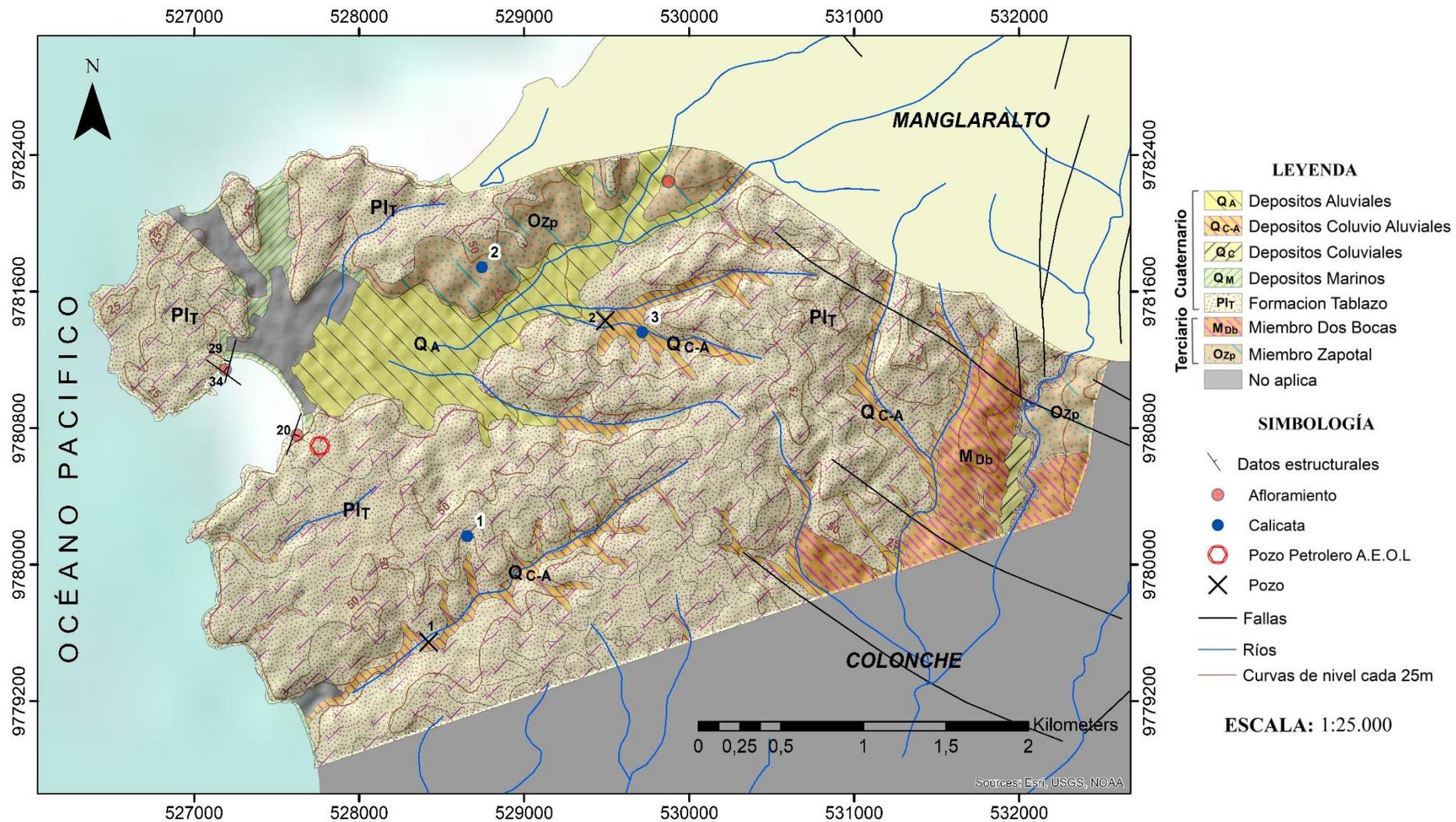


Figura 4.24 Mapa Geológico de la comuna “Ayangue”

4.6 Geoeléctrica

Se realizaron 27 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs) ejecutados con el equipo Terrameter System 1000. Esta información fue procesada en el software IPI2win con un porcentaje de error inferior al 10%, en el que se obtienen los datos de número de capas, resistividades, espesores y profundidades para cada SEVs. La información de las resistividades se correlacionó con información geológica de campo, la carta geológica de la zona, 3 calicatas, 2 pozos excavados a mano y 1 perforación petrolera de Pacifpetrol. La correlación de toda esta información permitió obtener 6 perfiles en la zona (Figura 4.25).

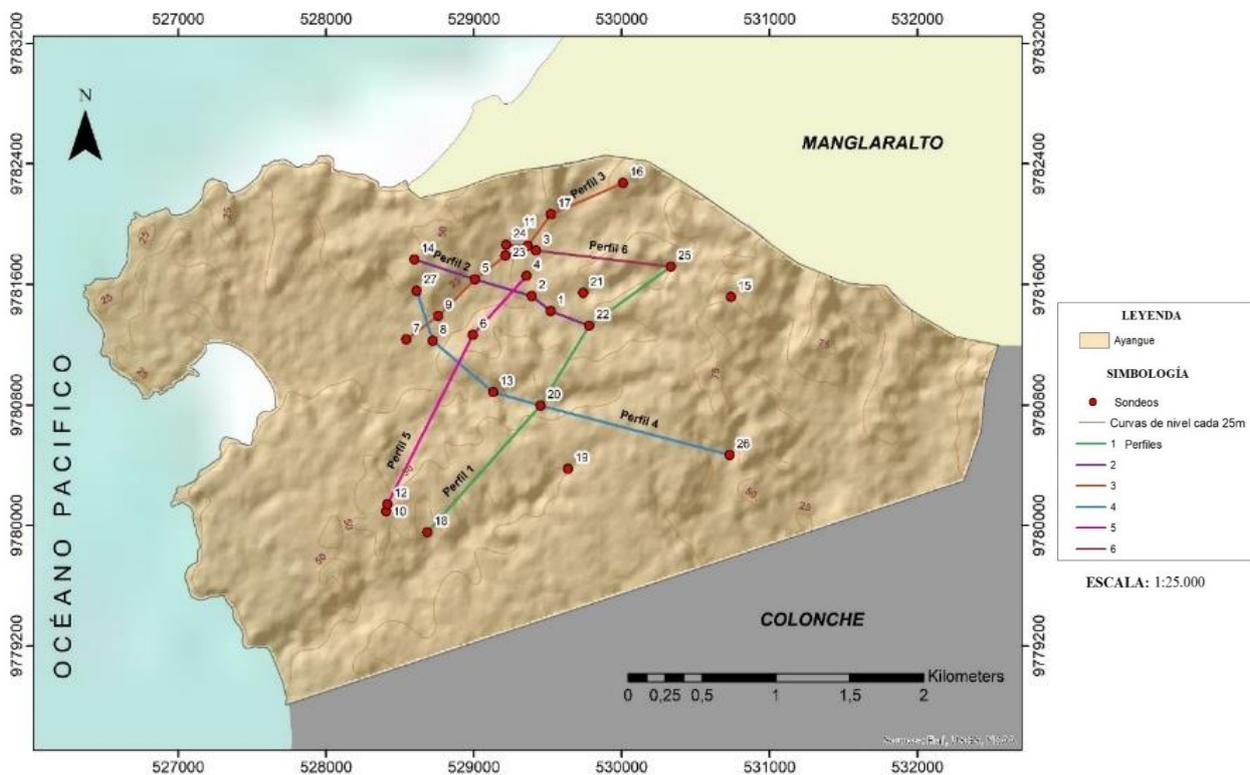


Figura 4.25 Mapa de perfiles geoeléctricos

El perfil 1 (Figura 4.26 y Tabla 4.12) corresponde a la correlación de SEVs que se encuentran en el depósito coluvio-aluvial. En este perfil existe posibilidad de encontrar agua en la capa de arcillas, arenas, gravas y conglomerados (color naranja) del SEV 18 y SEV 22. Dependiendo de la cantidad de arena que tenga la capa de arcillas, limos y arenas del SEV20 y SEV25, también existiría probabilidad de captación de agua. Sin embargo, es posible que debido a la capa con mineralización (color marrón claro), el agua en estos puntos pueda ser salada o salobre, lo cual se puede comprobar con una

perforación exploratoria. Pasando los 60 m de espesor es posible encontrar saturación de agua posiblemente salada o salobre.

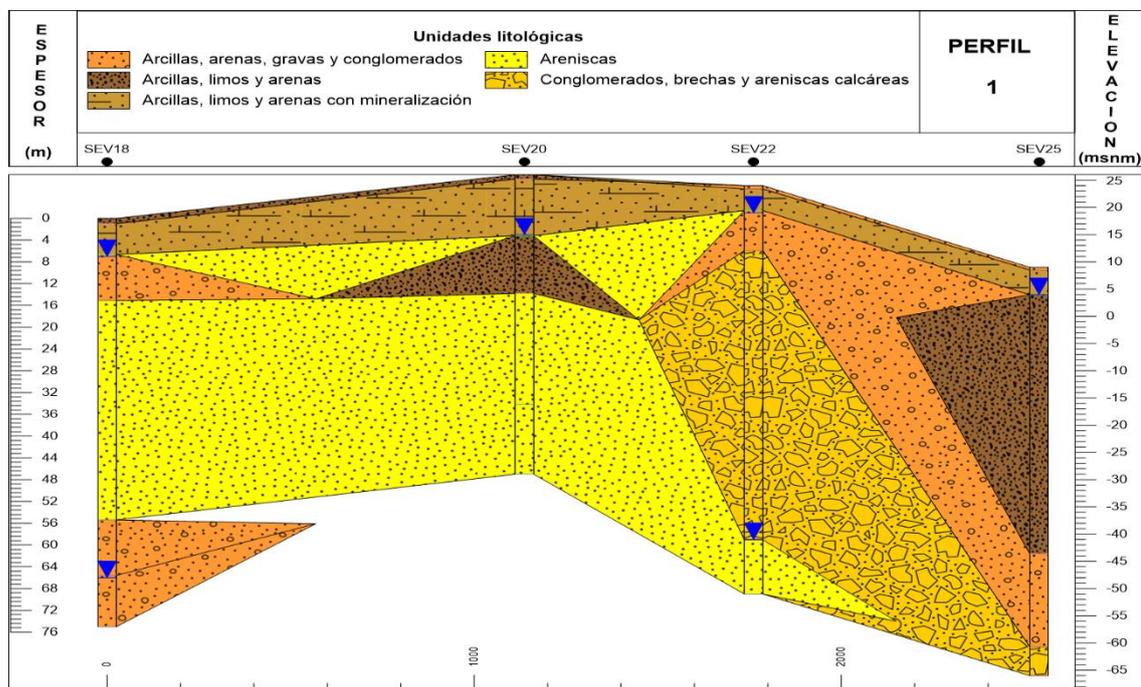


Figura 4.26 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV25, SEV22, SEV20, SEV18 del perfil 1. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.

Tabla 4.12 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV25, SEV22, SEV20, SEV15 del perfil 1

Perfil 1								
N°	S E V 2 5	Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología	S E V 2 2	Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología
1		52.2	0.5	Arcillas, arenas, gravas		146.0	0.6	Arcillas, arenas, gravas
2		1.9	5.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización		4.5	4.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización
3		8.3	52.6	Arcillas, limos y arenas		188.0	12.0	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados
4		95.6	69.7	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados		7345.0	65.1	Conglomerados/brechas y areniscas calcáreas
5	1116.0		Conglomerados/brechas y areniscas calcáreas	282.0		Areniscas		

1	SEV 20	10.2	0.8	Arcillas, limos y arenas	SEV 18	10.6	1.0	Arcillas, limos y arenas
2		2.3	11.2	Arcillas, limos y arenas con mineralización		0.7	6.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización
3		9.5	21.8	Arcillas, limos y arenas		47.9	15.1	Arcillas, arenas, gravas
4		243.0	42.2	Areniscas		941.0	55.4	Areniscas
5		187.0		Areniscas		44.3	65.6	Arcillas, arenas, gravas
6						24.1		Arcillas, arenas, gravas

El perfil 2 (Figura 4.27 y Tabla 4.13) corresponde a la correlación de SEVs que se encuentran en los depósitos coluvio-aluvial, aluvial y el Miembro Zapotal. Cerca del SEV 1 y SEV 22 se encuentra un pozo somero excavado a mano y una calicata, respectivamente. En este perfil existe posibilidad de encontrar agua en la capa de arcillas, arenas, gravas y conglomerados (color naranja) y de areniscas (color amarillo) del SEV 5, SEV 14 y SEV 22. Debido a la capa con mineralización (color marrón claro), el agua en los SEV 1 y SEV 2 puede ser salada o salobre. Además, los niveles de agua por debajo de los 50 m de espesor pueden ser de agua salada o salobre.

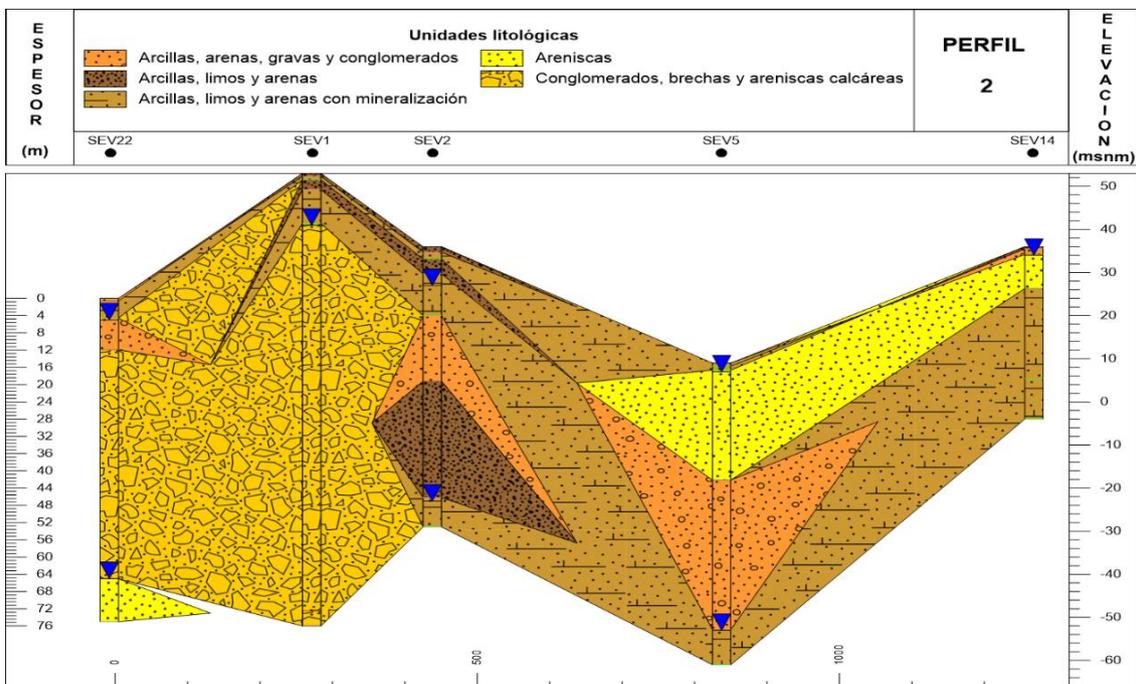


Figura 4.27 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV22, SEV1, SEV2, SEV5, SEV14 del perfil 2. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.

Tabla 4.13 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV22, SEV1, SEV2, SEV5, SEV14 del perfil 2

Perfil 2								
N°		Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología		Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología
1	SEV 1	16.2	0.7	Arcillas, limos y arenas	SEV 2	7.0	1.3	Arcillas, limos y arenas
2		4.23	1.5	Arcillas, limos y arenas con mineralización		2.5	2.8	Arcillas, limos y arenas con mineralización
3		18.3	3.8	Arcillas, limos y arenas		6.6	6.3	Arcillas, limos y arenas
4		2.01	11.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización		1.3	16.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización
5		7798	101.5	Conglomerados/brechas y areniscas calcáreas		48.6	31.2	Arcillas, arenas, gravas
6		7627		Conglomerados/brechas y areniscas calcáreas		8.0	58.2	Arcillas, limos y arenas
7						0.5		Arcillas, limos y arenas con mineralización
1	SEV 5	0.8	0.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización	SEV 14	13.0	0.5	Arcillas, limos y arenas
2		0.1	1.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización		47.2	1.8	Arcillas, arenas, gravas
3		115.0	27.2	Areniscas		221.0	9.7	Areniscas
4		28.3	61.9	Arcillas, arenas, gravas		1.3	30.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización
5		3.1		Arcillas, limos y arenas con mineralización		1.0		Arcillas, limos y arenas con mineralización

El perfil 3 (Figura 4.28 y Tabla 4.14) corresponde a la correlación de SEVs que se encuentran a lo largo del depósito aluvial y el Miembro Zapotal. Cerca del SEV 1 y SEV 22 se encuentra un pozo somero excavado a mano y una calicata, respectivamente. En este perfil existe posibilidad de encontrar agua en la capa de arcillas, arenas, gravas y conglomerados (color naranja) y de areniscas (color amarillo) del SEV 5, SEV 7, SEV 9, SEV 11 y SEV 23. Debido a las capas con mineralización (color marrón claro), el agua puede ser salada o salobre, especialmente mientras mayor espesor tenga esta capa. Además, se podrían hacer pequeños pozos exploratorios en los puntos del SEV 16 y SEV 17.

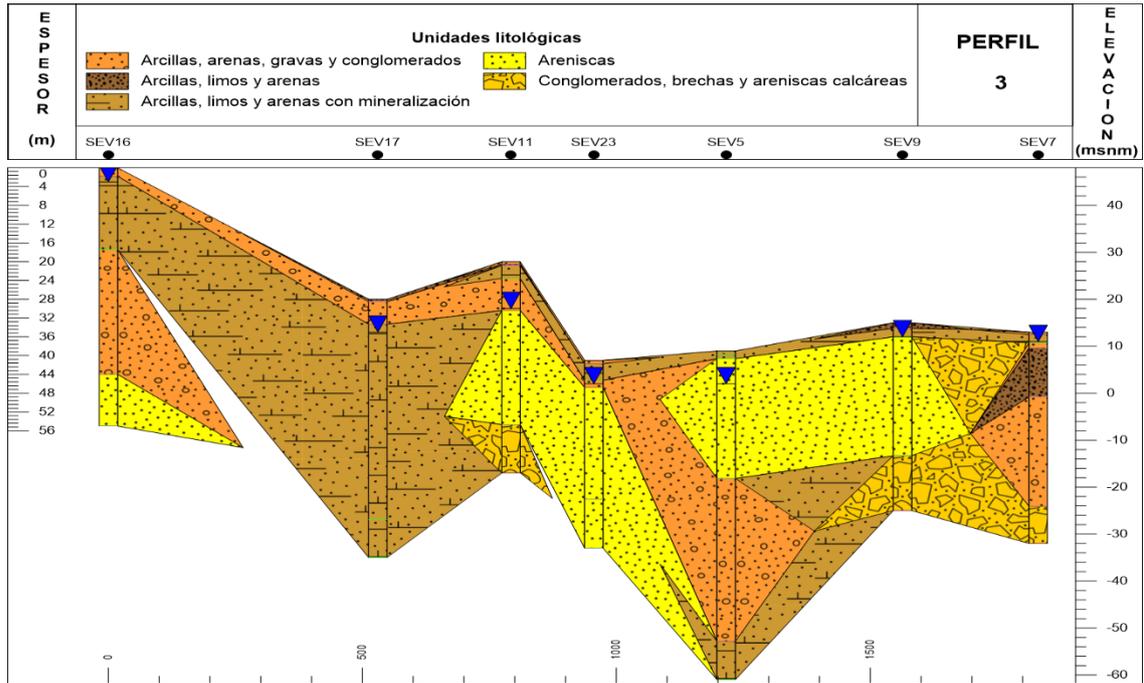


Figura 4.28 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV16, SEV17, SEV11, SEV23, SEV5, SEV9, SEV7 del perfil 3. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.

Tabla 4.14 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV16, SEV17, SEV11, SEV23, SEV5, SEV9, SEV7 del perfil 3.

Perfil 3								
N°		Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología		Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología
1	SEV16	36.5	1.8	Arcillas, arenas y gravas	SEV17	10.0	0.5	Arcillas, limos y arenas
2		1.7	17.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización		25.3	5.3	Arcillas, arenas y gravas
3		77.4	44.0	Arcillas, arenas y gravas		3.9	46.9	Arcillas, limos y arenas con mineralización
4		556.0		Areniscas		0.3		Arcillas, limos y arenas con mineralización
1	SEV11	49.7	0.5	Arcillas, arenas y gravas	SEV7	32.0	0.5	Arcillas, arenas y gravas
2		12.4	0.8	Arcillas, limos y arenas		1.5	2.3	Arcillas, limos y arenas con mineralización

3	1	1.8	3.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización		92.8	3.4	Arcillas, arenas y gravas
4		97.0	10.4	Arcillas, arenas y gravas		15.7	13.8	Arcillas, limos y arenas
5		704.0	34.7	Areniscas		97.0	37.1	Arcillas, arenas y gravas
6		3014.0		Conglomerados/brechas y areniscas calcáreas		1447.0		Conglomerados/brechas y areniscas calcáreas
1	SEV 23	170.0	0.7	Arcillas, arenas y gravas	SEV 9	3.3	1.2	Arcillas, limos y arenas
2		1.3	4.2	Arcillas, limos y arenas con mineralización		1.0	3.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización
3		22.5	5.8	Arcillas, arenas y gravas		212.0	28.3	Areniscas
4		467.0	29.6	Areniscas		1206.0		Conglomerados/brechas y areniscas calcáreas
5		788.0		Areniscas				

El perfil 4 (Figura 4.29 y Tabla 4.15) corresponde a la correlación de SEVs que se encuentran en los depósitos coluvio-aluvial, aluvial y el Miembro Zapotal. Cerca del SEV 8 y SEV 20 se encuentra un pozo somero excavado a mano y una calicata, respectivamente. En este perfil existe posibilidad de encontrar agua en la capa de arcillas, arenas, gravas y conglomerados (color naranja) y de areniscas (color amarillo) del SEV 20, SEV 26 y SEV 27. Debido a la capa con mineralización (color marrón claro), el agua en los SEVs de este perfil puede ser salada o salobre, especialmente mientras mayor es el espesor de la capa.

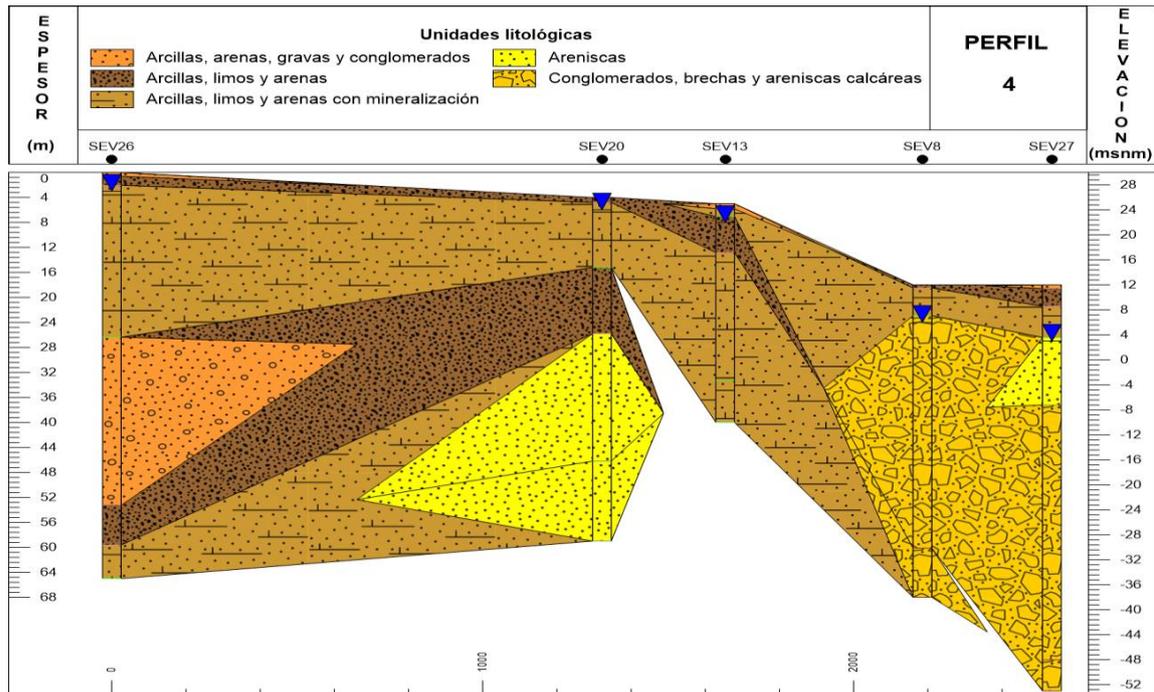


Figura 4.29 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV26, SEV20, SEV13, SEV8, SEV27 del perfil 4. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.

Tabla 4.15 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV26, SEV20, SEV13, SEV8, SEV27 del perfil 4.

Perfil 4								
N°		Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología		Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología
1	SEV26	66.7	0.6	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	SEV27	24.6	0.6	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados
2		17.0	2.1	Arcillas, limos y arenas		8.5	3.4	Arcillas, limos y arenas
3		3.7	26.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización		2.8	8.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización
4		23.5	53.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados		311.0	19.2	Areniscas
5		10.2	59.6	Arcillas, limos y arenas		1046.0	60.0	Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas
6		0.6		Arcillas, limos y arenas con mineralización		1706.0		Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas
1	SE	2.4	0.5	Arcillas, limos y arenas	SE	25.4	0.8	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados

2	V 8	1.2	4.9	Arcillas, limos y arenas con mineralización	V 13	1.8	2.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización
3		759.0	42.1	Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas		4.7	7.8	Arcillas, limos y arenas
4		580.0		Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas		1.9	28.3	Arcillas, limos y arenas con mineralización
5						1.1		Arcillas, limos y arenas con mineralización

El perfil 5 (Figura 4.30 y Tabla 4.16) corresponde a la correlación de SEVs que se encuentran en los depósitos aluviales y la F. Tablazo. En este perfil existe posibilidad de encontrar agua en la capa de arcillas, arenas, gravas y conglomerados (color naranja) del SEV 12. Además, las capas de arcillas, arenas, gravas y conglomerados (color naranja) y de areniscas (color amarillo) del SEV 4 y SEV 6 podrían contener agua, pero existe la posibilidad de que el agua sea salada o salobre debido a la capa con mineralización (color marrón claro).

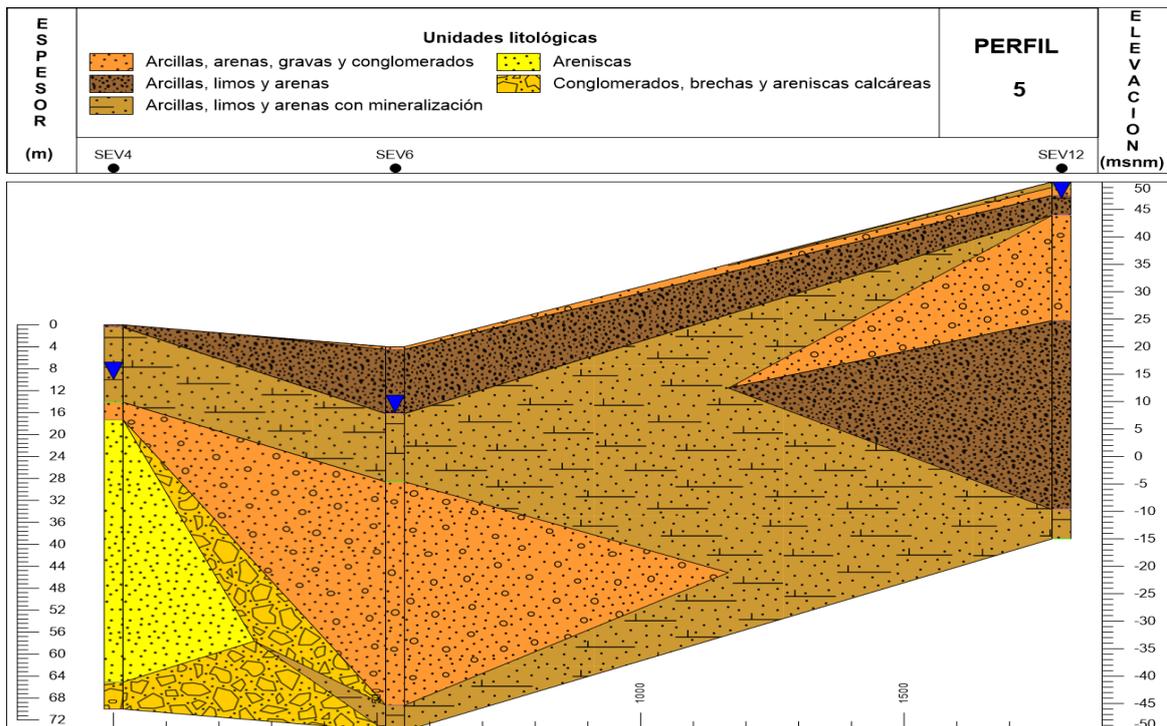


Figura 4.30 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV4, SEV6, SEV12 del perfil 5. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.

Tabla 4.16 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV14, SEV6, SEV12 del perfil 5.

Perfil 5								
N°	S E V 6	Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología	S E V 1 2	Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología
1		28.2	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados		4.5	1.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización
2		5.5	12.2	Arcillas, limos y arenas		103.0	2.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados
3		0.8	24.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización		14.9	6.1	Arcillas, limos y arenas
4		55.6	65.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados		163.0	25.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados
5		0.2		Arcillas, limos y arenas con mineralización		7.7	59.7	Arcillas, limos y arenas
6						2.1		Arcillas, limos y arenas con mineralización

El perfil 6 (Figura 4.31 y Tabla 4.17) corresponde a la correlación de SEVs que se encuentran en los depósitos coluvio-aluviales y en el ancho del aluvial. En este perfil existe posibilidad de encontrar agua en la capa de arcillas, arenas, gravas y conglomerados (color naranja) de los SEV 11 y SEV 24. Además, las capas de arcillas, limos y arenas (color marrón) de los SEV 3 y SEV 25, también podrían usarse para captar agua, dependiendo de si tienen un mayor contenido de arenas que de los otros materiales. Sin embargo, existe la posibilidad de que el agua sea salada o salobre en todos los puntos, debido a la capa con mineralización (color marrón claro) que se presenta en los primeros estratos.

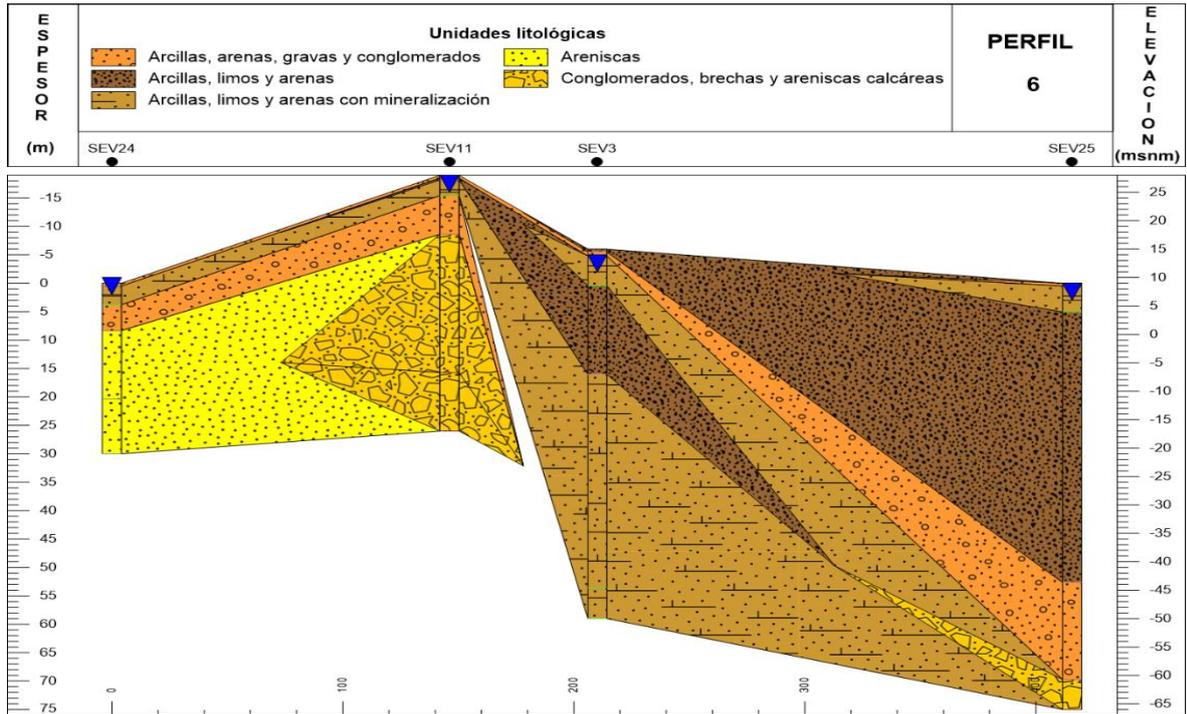


Figura 4.31 Correlación de columnas litológicas de los sondeos SEV24, SEV11, SEV3, SEV25 del perfil 6. Los triángulos azules corresponden al nivel de agua.

Tabla 4.17 Correlación de datos de resistividades, profundidades y litologías de los sondeos SEV24, SEV11, SEV3, SEV25 del perfil 6.

Perfil 6						
Nº	Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología	Resist. ρ (Ω m)	Prof. (m)	Litología
1	56.7	0.5	Arcillas, arenas y gravas	21	0.5	Arcillas, limos y arenas
2	1.2	3.8	Arcillas, limos y arenas con mineralización	91.4	1.2	Arcillas, arenas y gravas
3	79.6	8.3	Arcillas, arenas y gravas	0.759	6.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización
4	691.0	20.3	Areniscas	8.28	22.0	Arcillas, limos y arenas
5	970.0		Areniscas	0.329	59.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización
6				0.256		Arcillas, limos y arenas con mineralización

4.7 Saneamiento y uso agrícola

En este apartado se presentan los resultados obtenidos por parte de los laboratorios, y el cumplimiento o no cumplimiento de los criterios de calidad establecidos en la sección 3.5.5. La tabla 4.18 refleja que de los 10 parámetros establecidos solo 2 sobrepasan los límites permisibles. El parámetro de coliformes fecales y E. Coli sobrepasan 120 veces más los límites permisibles en la laguna 01 y 1.7 veces más para la laguna 02. Además, se presentan una moderada restricción en los resultados obtenidos en los parámetros de sólidos disueltos y conductividad para ambas lagunas.

Tabla 4.18 Resultado de los análisis de calidad de las lagunas de estabilización en el uso de aguas para riego agrícola

Parámetro	Resultados Laguna 01	Cumplimiento	Resultados Laguna 02	Cumplimiento
Aceites y grasas	-	-	<10 mg/L	No cumple
Coliformes fecales	120000 NMP/100ml	No cumple	1700 NMP/100ml	No cumple
Nitritos	-	-	0.12 mg/l	Si cumple
Sulfatos	124 mg/l	Si cumple	83 mg/l	Si cumple
Oxígeno Disuelto	5.31 mg/l	Si cumple	6.58 mg/l	Si cumple
pH	8.19	Si cumple	8.40	Si cumple
Conductividad	1.552 milimhos/cm	Ligera moderada restricción	1.496 milimhos/cm	Ligera moderada restricción
Salinidad	0.7	Si cumple	0.7	Si cumple
Total, de Sólidos Disueltos	1552 mg/l	Ligera moderada restricción	1496 mg/l	Ligera moderada restricción
E. Coli	120000 UFC/ ml	No cumple	1700 UFC/ ml	No cumple

La tabla 4.19 refleja que todos los cinco frutos analizados según los 4 criterios de calidad se encuentran dentro de los rangos permisibles de consumo.

Tabla 4.19 Resultado de los análisis de calidad microbiológicas en los frutos para consumo

Tipo de muestra	Coliformes totales	Cumplimiento	Coliformes fecales	Cumplimiento	Enterobacterias	Cumplimiento	Aerobios Mesófilos	Cumplimiento
Limón	<1.1	Si cumple	<1.1	Si cumple	Ausente	Si cumple	25	Si cumple
Maracuyá	<1.1	Si cumple	<1.1	Si cumple	Ausente	Si cumple	0	Si cumple
Naranja	<1.1	Si cumple	<1.1	Si cumple	Ausente	Si cumple	0	Si cumple
Mandarina	<1.1	Si cumple	<1.1	Si cumple	Ausente	Si cumple	70	Si cumple
Guanábana	<1.1	Si cumple	<1.1	Si cumple	Ausente	Si cumple	90	Si cumple

CAPÍTULO 5

5. DISCUSIÓN

Déficit Hídrico

El proyecto plantea una alternativa de abastecimiento de agua que pretende suplir la demanda agrícola actual. Para la realización de este proyecto se llevaron a cabo actividades como el estudio de las microcuencas y orden de ríos presentes en la zona, un análisis temporal y balance hídrico del periodo 1990 a 2021, obteniendo valores promedio mensuales del estado hídrico de la recarga del acuífero. Como resultado de estos análisis se estableció que las microcuencas delimitadas sufren un gran estado de déficit durante todo el año, indicando que en el área de estudio no existe la suficiente cantidad de agua lluvia para que se infiltre y se recargue el acuífero de manera eficiente, solo en los meses de febrero y marzo el déficit disminuye considerablemente aportando así a la recarga.

Factibilidad vs no factibilidad de agua subterránea

Para delimitar las zonas potenciales de agua subterránea se analizaron factores condicionantes tales como litología, uso y cobertura de suelo, pendiente, textura de suelo, densidad de drenaje, densidad de falla y la precipitación como factor desencadenante. El resultado reveló que las zonas con alto potencial de agua subterránea corresponden al 55% y se caracterizan por estar en áreas de depósitos aluviales, depósitos coluvio aluviales y las zonas con potencial de agua subterránea muy alto corresponden al 25% y se encuentran en ciertas áreas de la formación Tablazo y Miembro Zapotal.

La caracterización geoeléctrica refleja la presencia de una capa mineralizada, posiblemente de yeso en la mayoría de los 27 sondeos, donde el agua subterránea podría ser salobre o salada, sin embargo, existen puntos factibles de agua dulce como los sondeos 5, 7, 11, 12, 14, 18, 22, 23, 24 y 27 donde el espesor de esta capa no sobrepasa los 5m, es decir que la capa mineralizada se encuentra más superficial que las capas saturadas de agua. A partir de la caracterización geoeléctrica y el mapa de zonas potenciales de agua subterránea se determinaron 10 puntos factibles de ubicación para pozos y 9 para tapes o diques semiartesanales que servirán como sitios de aprovechamiento de agua, ver la Figura 5.1.

Cabe recalcar que el presente trabajo da paso a estudios geométricos y numéricos que detallen con más exactitud el volumen y la vida útil del acuífero, debido a que se realizó una estimación teórica del volumen con 1,5 metros de espesor de las posibles capas saturadas de agua, encontradas en los perfiles geoelectricos, obteniendo que el valor del recurso podría alcanzar los 4421085 m^3 y 9 meses de vida útil, cubriendo así el 71% de la demanda restante, además de plantear nuevas medidas ecoamigables que mejoren la calidad y abastecimiento de agua de las lagunas de estabilización, dándole así a la comunidad una solución ante las necesidades

Abastecimiento superficial y complementario

Con respecto al uso y saneamiento agrícola de las lagunas de estabilización que abastecen al 29% de la demanda y que no presentan un control ni una regulación sanitaria, los resultados de analizar 4 criterios de calidad en 5 frutos regados con este tipo de agua, indican que ninguno sobrepasa los límites permisibles establecidos por las normas ecuatorianas de calidad, es decir, no tienen afectación microbiológica que repercuta en la salud humana al ser ingeridos. A pesar de ello es importante analizar directamente la gestión del cultivo y los efectos que puede tener bajo la influencia de sólidos disueltos o una producción fúngica por el riego con agua residual.

Propuestas y potenciales soluciones para el abastecimiento hídrico

Rodríguez & Salazar (2017) realizaron un análisis de control de inundaciones y diseño de soluciones viales debido a que, en épocas invernales, las lluvias provocaban desbordamientos en las lagunas de estabilización y acumulación de agua cerca de zonas residenciales, ante esto propusieron realizar la construcción de una presa colinar. Estos resultados fueron apoyados por la tesis de Mata & Calderón (2019), que además de ver el problema de las inundaciones acarreadas por las lluvias, destacaron que existe un déficit hídrico en la zona y propusieron una solución similar para almacenar el agua; dichas soluciones no han sido llevadas a cabo hasta la presente fecha. En el presente trabajo por su contraparte también ha constatado que existe una necesidad de abastecimiento de agua en la zona, donde se plantea la construcción de pozos y diques semiartesanales, para el almacenamiento y abastecimiento del recurso ante el déficit presentado. Las soluciones son económicamente más accesibles y ocupan un menor espacio en comparación con la construcción de una presa.

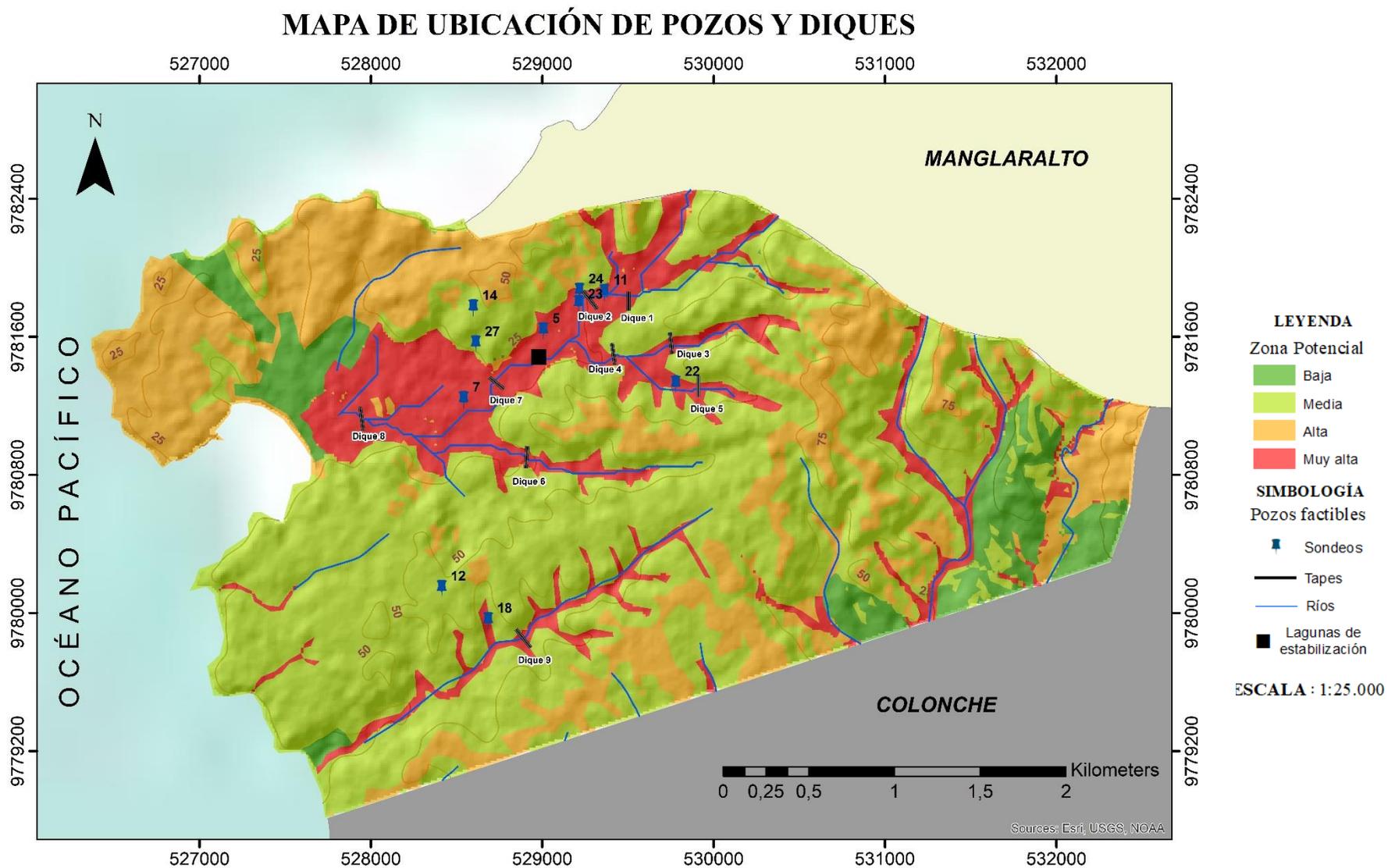


Figura 5.1. Mapa de ubicación de zonas potenciales de pozos y tapes para la gestión del recurso hídrico.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- A partir de la ecuación 3.1 con radio de consistencia de 5%, se correlacionó la litología, uso y cobertura de suelo, pendiente, textura de suelo, densidad de drenaje y falla como factores condicionantes con una ponderación de 60% y la precipitación como factor desencadenante presenta una ponderación de 40%, donde se obtuvo que las zonas con mayor factibilidad para agua subterránea se encontraba en la parte de la microcuenca media-baja de Ayangue y en los drenajes menores de la cuenca Valdivia presente en la zona de estudio.
- Con la caracterización hidrogeológica realizada para la correlación e identificación de litologías mediante un reconocimiento de campo y 27 sondeos eléctricos verticales derivados a 6 perfiles geoeléctricos, se obtuvo el agua dulce se encuentra en capas de areniscas, arcillas, arenas y gravas con espesores entre 5 a 35 m en las zonas de depósitos aluviales, coluvioaluviales, Formación Tablazo y Miembro Zapotal.
- El análisis hidrológico e hidrogeológico realizado permitieron brindar a la comunidad una propuesta sostenible de los recursos hídricos destinados a la agricultura, se establecieron los puntos factibles de ubicación de 10 pozos y 9 diques semiartesanales para el control y almacenamiento superficial y subterráneo de agua.
- Se puede utilizar el agua residual de las lagunas de estabilización para el riego agrícola siempre y cuando la calidad de los frutos para consumo no exceda los límites permisibles por las normativas ecuatorianas.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda hacer una calicata de máximo 5 m de profundidad en los sondeos 5, 7, 11, 22, 23 y 24 para comprobar si el espesor de la capa mineralizada se extiende haciendo que el agua subterránea presente sea salobre o salada.
- Se debe considerar límites de perforación para la construcción de los pozos, los sondeos 5, 24 y 27 perforar hasta los 20m, los sondeos 11 y 23 hasta 30m, el sondeo 12 hasta 25m, el sondeo 14 hasta 9m, el sondeo 7 hasta 35m y el sondeo 22 hasta 12m.
- Se recomienda repetir los sondeos 18, 19 y 20 para corroborar los datos obtenidos con su respectiva interpretación y correlación, debido a que el equipo presentó valores con incertidumbres mayores al 10%.
- A pesar de que los resultados de los análisis de calidad de los frutos fueron favorables se recomienda realizar un muestreo con confianza estadística para así tener una representación más confiable de la influencia del riego con agua residual en los cultivos.
- Se recomienda no utilizar el agua de las lagunas de estabilización en una producción agrícola rastrera (ej. Hortalizas), por que estarían en contacto directo con el agua residual que presentan valores altos de contaminación por coliformes fecales y E. Coli.
- Se aconseja implementar una propuesta de gestión sostenible de manejo hídrico en la agricultura a través de un sistema de riego por goteo que regulé la distribución de agua de las lagunas y pozos. Además de implementar el método de filtros verdes como una alternativa para mejorar la calidad de agua de las lagunas de estabilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. (2011). *Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha*. Trabajo de grado. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- 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).
- Alemán, A., Palencia, A., Lezama, E., & Montenegro, G. (2021). *The Chongon/Colonche orocline transrotational bending and the coeval opening of the Progreso basin in southwestern Ecuador*. Quito.
- Aloui, D., Chekirbane, A., Stefan, C., Schlick, R., Msaddek, M. H., & Mlayah, A. (2022). *Use of a GIS-multi-criteria decision analysis and web-based decision support tools for mapping and sharing managed aquifer recharge feasibility in Enfidha plain, NE of Tunisia*. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(7), 1-15.
- Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la prospección de agua subterránea*. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/indexm.html>
- Baquerizo Ortega, M. B. (2016). *Estudio de factibilidad para la creación de un hostel en la comuna Ayangue, parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, año 2016* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2016.).
- Benitez, S. (1995). *Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00542421>
- Bonilla Portilla, F. A. (2013). *Análisis de parámetros hidrogeoquímicos del manantial. El Castillo, Xalapa durante el período 2010-2012*
- Cabrera, H., Garcés, M., & Paredes, P. (2012). *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador*. 45-49

- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Ediciones Omega S. A.
- De la Torre, F. B. (2017). *Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución*. Cuadernos de estrategia, (186), 21-70.
- Duke Energy International. (1999). *Geological Map SouthWest Ecuador 1:200000*. Ancón.
- Fathi, S., Hagen, JS y Haidari, AH (2020). *Sintetizar los marcos existentes para identificar el potencial de la recarga de acuíferos gestionados en una región kárstica y semiárida mediante el análisis de decisiones multicriterio GIS*. Agua subterránea para el desarrollo sostenible, 11 , 100390.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Colonche. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Colonche.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PRENTICE HALL.
- Hussaini, MS, Farahmand, A., Shrestha, S., Neupane, S. y Abrunhosa, M. (2022). *Selección del sitio para la recarga gestionada de acuíferos en la ciudad de Kabul, Afganistán, utilizando un análisis de decisión multicriterio y un sistema de información geográfica*. Revista de hidrogeología , 30 (1), 59-78
- Instituto Andaluz de Geofísica. (2013). *Prospección Eléctrica en Corriente Continua*. Granada: Universidad de Granada.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *Control microbiológico de los alimentos*. Quito.
- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE). (2012). *Generación de geoinformación para la Gestión Del Territorio a Nivel Nacional, Escala 1: 25 000: Geopedología*.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2010). *Anuario meteorológico 2008*.
- Instituto Tecnológico y Minero de España (ITGE). (1995). *Conoce las Aguas*

Subterráneas.

- Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). (2009). *Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador*. Quito.
- International Water Management Institute (IWMI). (2003). *Confronting the realities of wastewater use in agriculture*. www.iwmi.cgiar.org/home/wastewater.htm
- Jaillard, E., Benítez, S., Berrones, G., & Ordoñez, M. (1993). *Actividades y resultados del Convenio ORSTOM-Petroproducción*.
- Mata, J., & Calderón, B. (2019). *Estudio y diseño para embalsar aguas lluvias y dotación de agua potable en la comuna de Ayangué*. Guayaquil.
- Ministerio de Salud Pública. (1991). *Resolución número 7992. Elaboración, conservación y comercialización de Jugos. Concentrados, Néctares, Pulpas, Pulpas Azucaradas y Refrescos de Frutas*. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2017). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA. Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*.
- Ministerio del Ambiente y Agua (MAAE). (2021). *Plan Estratégico Institucional 2021-2024*.
- Montenegro, G. (2007). *Informe Geológico sobre cuencas del litoral ecuatoriano*. Guayaquil.
- Murray, D., Cunningham, E., & Murray, A. (1958). *A.E.O.L Ayangué No. 1 (WILDCAT)*. Ancón.
- Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*.
- Ordóñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). *"MICROPALAEONTOLOGÍA ECUATORIANA". Datos Bioestratigráficos y Paleoecológicos de las Cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del Levantamiento de la PSE, y de las Cordilleras Chongón Colonche, Costera y Occidental*.

- Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., & Karajeh, F. (2007). *Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries*. *Agricultural water management*, 87(1), 2-22.
- Saaty, T. (1980) *Multicriteria decision Making: The analytic hierarchy process*. New York, McGraw Hill.
- Sánchez, A., García, R., & Palma, A. (2003). *La cuenca hidrográfica*. México D.F.
- Sánchez, F. (2012). *Hidrología e Hidrogeología*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., & Zahoor, A. (2013). *Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use*. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13.
- Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), & Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research(CISPDR). (2016). *Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos y de las Cuencas y Microcuencas hidrográficas de Ecuador. Memoria*.
- Sowers, G. (1994). *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Noriega Editores.
- Shukla, SM (2014). *Análisis espacial de zonas potenciales de aguas subterráneas usando gis y sensores remotos en la cuenca de toneladas del distrito de allahabad, uttar pradesh, (india)*. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias, India Sección A: Ciencias físicas* , 84 (4), 587-593.
- Tapia, S., Oyarzún, R., Nuñez, J., & Oyarzún, J. (2015, August). *Identificación de zonas potenciales de recarga de aguas subterráneas en el sector de la mina Brillador*. *In XIV. Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile* (pp. 4-8).
- UNESCO. (2015). *Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua*. <http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>
- UNESCO.(2017). *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado*. http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_

Residuales_composicion.pdf

UNESCO. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018. Soluciones Basadas en la Naturaleza para La Gestión del Agua*. <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>

UNESCO. (2019). *Sustainable Development Goals water and sanitation*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>

U.S. Geological Survey. (2 de Diciembre de 2016). USGS. <https://pubs.usgs.gov/tm/2005/11B01/05tm11b01.html>

Valencia Robles, J. I. (2017). *Análisis hidrogeológico de la cuenca del río Manglaralto para la caracterización de sus sistemas acuíferos*. (Bachelor's thesis).

Vélez, M. (1999). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

World Meteorological Organization (WMO), & UNESCO. (2012). *International Glossary of Hydrology*.

ANEXOS

Año	Temperatura anual °C	Precipitación anual (mm)
1990	25.28	76.19
1991	25.36	194.40
1992	25.53	559.90
1993	25.40	318.87
1994	25.08	179.55
1995	25.38	118.50
1996	24.68	136.10
1997	26.16	1071.36
1998	26.13	1638.92
1999	24.71	331.70
2000	24.69	209.00
2001	24.71	494.34
2002	25.43	337.19
2003	25.18	245.00
2004	25.25	111.00
2005	25.03	63.20
2006	25.23	132.00
2007	24.49	105.00
2008	25.03	394.77
2009	25.46	178.55
2010	25.09	374.20
2011	24.93	136.00
2012	25.26	517.70
2013	24.75	453.50
2014	25.48	148.20
2015	25.71	232.42
2016	25.05	297.32
2017	24.54	583.42
2018	24.39	270.67
2019	24.81	281.93
2020	24.51	230.26
2021	24.00	378.23

Anexo 2. Datos de temperatura y precipitaciones anuales de la estación Colonche (INMAHI), y resultados de evapotranspiración real.

Año	Annual Precipitation (mm)	Precipitación media (1961 - 2013)	Desviación Simple	Desviación Acumulada
1990	76.19	337.5	-261.3	-261.3
1991	194.40	337.5	-143.1	-404.4
1992	559.90	337.5	222.4	-182.0
1993	318.87	337.5	-18.6	-200.6
1994	179.55	337.5	-157.9	-358.5
1995	118.50	337.5	-219.0	-577.5
1996	136.10	337.5	-201.4	-778.9
1997	1071.36	337.5	733.9	-45.0
1998	1638.92	337.5	1301.4	1256.5
1999	331.70	337.5	-5.8	1250.7
2000	209.00	337.5	-128.5	1122.2
2001	494.34	337.5	156.9	1279.1
2002	337.19	337.5	-0.3	1278.8
2003	245.00	337.5	-92.5	1186.3
2004	111.00	337.5	-226.5	959.8
2005	63.20	337.5	-274.3	685.5
2006	132.00	337.5	-205.5	480.0
2007	105.00	337.5	-232.5	247.6
2008	394.77	337.5	57.3	304.9
2009	178.55	337.5	-158.9	145.9
2010	374.20	337.5	36.7	182.6
2011	136.00	337.5	-201.5	-18.8
2012	517.70	337.5	180.2	161.4
2013	453.50	337.5	116.0	277.4
2014	148.20	337.5	-189.3	88.1
2015	232.42	337.5	-105.1	-16.9
2016	297.32	337.5	-40.2	-57.1
2017	583.42	337.5	245.9	188.8
2018	270.67	337.5	-66.8	122.0
2019	281.93	337.5	-55.5	66.5
2020	230.26	337.5	-107.2	-40.8
2021	378.23	337.5	40.8	0.0

Anexo 1. Precipitaciones acumuladas para elaboración de las secuencias secas y húmedas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio anual
1990	25.8	25.8	26.1	26.2	25.6	24.7	23.4	23.3	23.9	23.9	24.8	25.1	24.88
1991	25.3	26.2	26.7	26.3	25.9	25.1	23.7	23.1	23.6	23.9	24.4	25.4	24.97
1992	26.4	26.4	27.1	27.2	26.6	25	23.3	23.3	23.4	24	24.1	24.6	25.12
1993	25.6	25.9	26	26.3	26	25.2	24.2	23.9	24.1	23.9	24	24.9	25.00
1994	25.3	25.8	25.7	25.8	25.4	24.2	23.3	23	23.8	24.3	24.6	25.3	24.71
1995	26.2	26.2	26.2	26.2	25.5	24.9	24	23.6	24.3	24.2	24.1	24.6	25.00
1996	25	25.6	26.1	25.4	24.8	23.4	22.8	23.3	23.6	23.1	24.3	24.6	24.33
1997	25.3	25.6	26.3	26.9	27	26.2	25	24.6	25.1	25.1	25.3	26.4	25.73
1998	27	27	27.5	27.7	26.9	26	24.9	24.1	23.9	24.3	24.6	24.9	25.73
1999	25.5	25.8	26.4	25.7	24.6	23.7	22.5	23.1	23.7	23.4	23.7	24.3	24.37
2000	24.8	25.3	25.4	25.6	24.6	23.6	22.9	23.4	23.2	24.2	24	24.6	24.30
2001	25.8	26.4	25.9	25.9	24.2	23	22.9	23.1	22.9	23.4	23.9	24.6	24.33
2002	25.3	26.4	26.6	26.7	25.9	23.8	23.2	23.5	24	24.3	24.8	25.5	25.00
2003	26.3	26.4	25.9	25.8	24.9	24	23.5	23	23.4	24.2	24.4	25.1	24.74
2004	25.9	26.4	26.9	26.2	24.7	23.5	23	23.1	23.6	24.7	24.5	25.5	24.83
2005	26.1	26.1	26	26.3	25.2	24.1	23.4	23.5	23.4	23.3	23.2	24.7	24.61
2006	25.7	26.3	26.1	25.5	24.8	24.2	24	23.9	23.5	23.8	24.6	25.1	24.79
2007	26.5	25.8	25.9	25.7	24.3	23	22.8	22.4	22.8	22.8	23.4	23.9	24.11
2008	25.4	25.9	26.3	25.5	24.3	24	23.8	23.9	23.9	23.8	23.8	24.6	24.60
2009	25.3	25.8	25.4	26.6	25.5	24.8	24.4	24.3	24.3	24.3	24.7	25.6	25.08
2010	26.5	26.6	26.7	26.5	25.6	24.2	23.2	23.1	23.3	23.4	23.4	23.9	24.70
2011	25	25.5	25.4	25.9	25.5	25	23.6	23.6	23.5	23.1	23.9	24.6	24.55
2012	25	25	26	26.4	25.8	25.3	24.4	23.7	24	23.9	24.4	24.6	24.88
2013	25.6	25.8	25.7	25	24.7	23.6	22.8	23	23.6	23.6	24.1	25	24.38
2014	25.9	25.8	26	25.8	26.2	25.6	24.3	23.8	24.1	24.3	24.5	25.1	25.12
2015	25.7	26.3	26.1	26.3	26.6	25.9	24.9	24.4	25.5	25.3	25.5	26.1	25.72
2016	26.9	26.9	27	26.4	26	24.9	24.1	24.5	24.3	24.4	24.6	25.1	25.43
2017	26.2	26.7	27.2	26.8	26	25	23.7	23.6	23.6	24.8	24.3	24.7	25.22
2018	25.7	25.8	26.3	26	26.3	24.3	23.5	23.8	24	24	24.2	25.1	24.92
2019	26.3	26.6	26.4	26.5	26.1	24.7	25	24.3	24.2	24.2	25.1	25.8	25.43
2020	25.90	26.52	26.09	25.99	25.34	24.24	23.47	22.52	23.03	23.74	22.97	24.24	24.51
2021	24.83	25.43	25.02	24.69	23.98	23.59	23.58	23.16	23.57	23.57	22.93	23.70	24.00
Promedio Mensual	25.75	26.06	26.20	26.12	25.46	24.46	23.67	23.53	23.78	23.98	24.22	24.91	

Anexo 3. Datos de temperatura del periodo 1990 al 2021 recopilados de la capa de isoterma de Google Earth

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total Anual
1990	15.10	28.65	17.84	9.20	0.00	0.00	0.00	2.40	1.00	2.00	0.00	0.00	76.19
1991	16.40	159.60	7.40	1.10	0.30	0.40	1.00	3.00	0.00	4.10	0.00	1.10	194.40
1992	2.50	30.50	233.50	271.10	12.10	4.10	0.50	1.00	0.00	1.50	3.10	0.00	559.90
1993	14.20	199.80	90.20	6.80	3.20	0.00	4.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	318.87
1994	15.50	90.80	17.65	0.00	9.74	1.40	0.30	1.00	0.00	40.06	3.10	0.00	179.55
1995	14.70	56.20	9.90	0.00	13.50	0.00	0.00	2.20	3.10	11.60	5.30	2.00	118.50
1996	14.50	43.20	27.50	4.70	12.70	7.20	9.20	2.00	0.00	3.50	6.40	5.20	136.10
1997	55.92	73.36	122.24	13.36	2.22	2.13	13.12	7.55	2.70	7.13	292.82	478.81	1071.36
1998	155.19	409.90	328.03	454.91	238.63	10.60	6.34	2.71	7.55	8.57	6.29	10.21	1638.92
1999	14.30	168.20	36.00	36.80	15.00	11.40	7.50	17.50	0.00	7.70	10.10	7.20	331.70
2000	22.39	62.69	23.83	16.37	32.26	15.01	10.19	6.28	7.41	7.25	3.56	1.76	209.00
2001	92.06	108.43	215.21	43.03	8.78	1.48	3.12	1.72	1.41	2.30	2.03	14.79	494.34
2002	24.00	115.07	86.71	39.31	17.74	2.09	16.47	15.79	0.00	20.02	0.00	0.00	337.19
2003	38.10	95.80	34.30	44.60	27.40	0.00	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	245.00
2004	21.10	59.50	4.60	5.90	16.00	0.00	0.00	2.90	0.90	0.00	0.00	0.10	111.00
2005	0.00	33.00	9.50	19.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.80	0.00	0.00	63.20
2006	28.30	86.60	17.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	132.00
2007	35.40	0.00	60.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.20	0.00	105.00
2008	156.50	185.90	37.80	6.70	0.00	0.00	1.84	1.78	1.94	0.79	1.51	0.00	394.77
2009	24.93	23.00	0.00	63.70	0.00	2.11	1.74	16.75	8.75	22.56	11.06	3.93	178.55
2010	42.00	63.00	9.10	95.60	106.10	0.00	7.50	1.50	0.00	19.30	9.30	20.80	374.20
2011	21.90	30.40	0.00	63.40	0.00	2.70	2.50	8.90	1.90	3.50	0.00	0.80	136.00
2012	217.50	124.50	101.30	48.50	7.00	0.00	0.50	0.90	5.10	2.30	5.90	4.20	517.70
2013	68.00	134.60	221.20	0.00	0.00	13.80	0.00	0.00	0.00	11.70	4.20	0.00	453.50
2014	71.50	34.80	4.00	3.60	5.70	0.20	4.10	3.40	10.00	7.90	0.50	2.50	148.20
2015	14.00	7.80	41.70	100.60	11.22	6.94	13.40	6.13	7.08	4.43	10.07	9.05	232.42
2016	71.36	62.68	71.22	51.80	6.53	4.93	4.67	4.58	4.86	4.72	4.80	5.17	297.32
2017	80.16	142.77	161.72	106.19	49.94	6.15	4.75	4.81	4.62	7.04	4.81	10.44	583.42
2018	16.48	132.41	36.77	15.56	20.98	4.63	4.76	4.83	4.70	5.16	5.34	19.05	270.67
2019	39.56	71.07	69.82	34.83	15.63	9.58	4.80	4.67	4.71	5.19	7.72	14.35	281.93
2020	30.03	55.73	56.10	33.53	6.84	6.90	6.21	4.71	4.85	5.22	5.48	14.65	230.26
2021	94.55	42.13	110.10	27.88	18.71	23.20	4.71	4.77	7.62	6.57	14.40	23.61	378.23
Promedio Mensual	47.75	91.63	70.71	50.57	20.57	4.28	4.33	4.18	2.84	6.97	13.34	20.30	

Anexo 4. Datos de precipitación de la estación “Colonche”, periodo 1990 a 2021 provenientes de los anuarios meteorológicos del INAMHI. Los datos de color rojo son datos interpolados con las estaciones de “Barcelona”, “El Suspiro” y el visor de la NASA “POWER”.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total Anual
1990	13.3	25.9	20.8	0	0	4.7	11.3	5.5	10.5	7.7	0	0	99.7
1991	10.2	79.5	0	9.5	0	0	11.2	14	4.5	12.5	0	3.5	144.9
1992	34.2	81.2		277.8	28	35.5							456.7
1993	16	131.3	101.3	12.1	0	0	9	0	0	0	0	0	269.7
1994	28	41.8	90.1	12	0	18.4	7	4.4	0	22.5	2	9.2	235.4
1995					0	0	16.6	6	18	7.5	0	0	48.1
1996	25.5	83.9	15.4	0	20.5	16.3	7.5	0	10	12.1	7.4	15.5	214.1
1997	47.7	84.5	119.3	21	9.5	0	0	0	14	7.5	169.1	558.1	1030.7
1998	182	506.8	402.4	564.2	288.4	12.5	15.3	17	7.4				1996
1999													0
2000													0
2001													0
2002											14.2	1.8	16
2003	51.3	112.2	16.1	14	22.4	9.6	24.1	29.4	5.2	29.6	6.4	16.6	336.9
2004	9.2	63.3	26.8	2.3	34.9	6.1	27.5	12.5	15.8	22.8	8.2	0	229.4
2005	1.7	36.5	16.9	0.1	3.6		5	2.4	11.4	38.1	14.9	5.9	136.5
2006	67.4	200.3	18	1	3.9	2.3	4.4	8.5	9.6	4.3	7.2	0.8	327.7
2007	25.3	7.2	62.1	19.9	6.2	14	26.9	9.9	5.8	30.9	11.9	4.1	224.2
2008	161.5	166.9	89.7	6.7	8.1	2.4							435.3
2009						4.9	1.6	18.5	8.6	21.9	9.7	4.5	69.7
2010	51.5	109.4	23.9	76.9	21.5	11.4	22.3	25.2	22	20.5	17.9	55	457.5
2011	60.1	55.6	0	150.5	0.8	6.9	27.1	17.1	6.6	9.5	0	6.6	340.8
2012	90.2	93.8	54	1.2	0	25.3	0.7	11.9	4.4	12.6	1.7	6.9	302.7
2013	42	51.1	97.5	9.1	6	32.3	16.2	13	8.6	26.1	7.3	0	309.2
2014	53.6	51.8	7.9	8.7	7.5	3.2	10.2	30.9	23.4	13.7	5.6	3.7	220.2
2015	9.8	23.9	83.6	93	11.3	4.1	14.4	3.5	4.5	2.1	8.2	5.2	263.6

Anexo 5. Datos de precipitaciones del INAMHI periodo 1990 al 2015 de la estación “Barcelona”. Los datos marcados con naranja son datos faltantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total Anual
1990	27.9	31.4	25.8	16.2	2.6	17.1	10.9	12.7	8	10.6	7.5	10.4	181.1
1991	14.6	124.8	0	3.6	8.6	2.1	12.3	18.8	7	6.2	8.5	12.3	218.8
1992													0
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	389.2
1994	43.6	84	230.4	14.1	12.6	13.8	7.3	8.2	0.2	101.5	3	26.1	544.8
1995	57.5	163.8	8.9	44.9	7.7	7.4	44.1	25.5	9.3	24.1	5.9	0	399.1
1996	92.9	102.1	92.1	5.3	24	19.5	12.5	9.1	9.2	17.2			383.9
1997	46.6	104.5	266.8										417.9
1998													0
1999	11.9	220.3	32	34.1	14	13.4	20.1	5.7	25	21.2	9.2	5.5	412.4
2000	27.4	80.9	29.3	19.4	40.5	17.6	11.2	6	7.5	7.3	2.4	0	249.5
2001													0
2002													0
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	358.4
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	274.9
2005	0.9	57.7	21.6	52.9	0	2.5	7.7	7.4	12	38.2	19.7	4.3	224.9
2006	73	273.6	41.4	3.6	5.9	5.7	9.4	9.2	9.7	6.2	8.4	1.6	447.7
2007	32.2	20.3	67.5	25	10.1	20.8	37.8	13.9	6.5	39.8	11.5	8.5	293.9
2008	195.3	143.2	93.6	7	9.9	4.1							453.1
2009							3.1	16.8	9.5	22.1	11.6	5.1	68.2
2010	67	157.4	33.9	82	11.2	12.4	18.2	21.7	17.6	14.5	17.1	69.6	522.6
2011	55.8	56.2	0	142.3	0	6.4	27.7	20.1	5	14.4	0.6	14.4	342.9
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	416.8
2013	142.8	101.7	141.1	13.5	5.9	24.6	17	10.8	9.5	26	8.4	0.4	501.7
2014	73.9	70.2	11	8.5	7.5	5.4	13.1	26.9	26.3	21.5	5.5	3.9	273.7
2015	14.1	16	100.6	149.4	14.7	8.4	17.9	7.2	8.6	4.7	13	11.5	366.1

Anexo 6. Datos de precipitaciones obtenidos por INAMHI, periodo 1990 al 2015 de la estación “El Suspiro”. Los datos marcados con naranja son datos faltantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total Anual
1990	33.66	93.26	61.02	23.5	3.83	4.29	0.69	1.06	0.86	2.13	1.65	21.76	247.71
1991	40.71	116.91	44.43	11.19	17.81	1.02	0.75	0.5	0.57	0.63	1.31	16.37	252.2
1992	58.13	149.38	401.25	226.22	89.1	8.97	6.12	1.31	5.11	0.66	5.25	6.71	958.21
1993	45.95	168.08	85.45	73.47	21.25	1.67	0.52	0.19	0.56	0.69	0.99	21.63	420.45
1994	59.47	59.99	116.04	39.77	10.22	1.22	0.37	0.88	0.66	1.05	1.17	44.13	334.97
1995	95.24	159.9	60.01	69.98	6.24	2.33	4.25	1.1	0.31	1.72	2.58	4.58	408.24
1996	24.66	99.43	83.32	23.76	0.71	0.86	1.09	0.49	1.81	2.55	3.18	6.81	248.67
1997	65.9	173.08	282.1	125.12	43.57	77.9	52.04	23.88	54.39	26.49	246.4	375.48	1546.35
1998	496.73	596.47	518.5	445.07	297.09	32.25	11.05	2.79	2.2	8.21	11.87	13.16	2435.39
1999	56.57	246.25	274.24	130.51	20.88	3.88	8.66	1.39	2.99	2.04	8.56	31.36	787.33
2000	56.52	118.53	181	106.94	89.6	8.2	1.17	1.8	4.92	1.21	0.77	8.59	579.25
2001	119.96	179.08	419.8	121.25	8.45	1.83	2.05	0.58	0.5	0.98	6.95	4.86	866.29
2002	38.34	267.31	363.45	164.57	8.11	2.84	1.08	0.49	0.98	9.27	2.62	17.07	876.13
2003	56.95	161.15	82.74	59.13	14.42	1.76	4.61	2.18	1.64	3.19	2.72	24.86	415.35
2004	48.53	106.2	133.41	66.91	17.86	1.98	2.07	0.71	1.59	1.9	1.25	4.05	386.46
2005	0.86	13.32	84.28	26.07	2.17	0.68	0.33	0.36	0.55	1.16	1.89	5.21	136.88
2006	48.52	158.58	64.23	11.54	2.14	1.19	0.34	0.47	0.37	1.13	0.98	32.24	321.73
2007	56.41	1.29	41.21	1.75	1.69	2.13	1.08	1.08	0.37	4.08	12.99	6.59	130.67
2008	171.33	266.33	255.4	105.17	14.07	1.75	0.86	1.39	1.6	0.92	0.59	0.67	820.08
2009	56.54	165.03	82.41	0.68	1.11	0.52	0.52	1.58	0.25	0.61	0.88	4.39	314.52
2010	61.97	123.92	87.7	96.37	4.47	22.87	2	0.82	0.72	1.58	3.98	73.74	480.14
2011	43.67	95.29	14.98	132.82	1.08	7.55	4.07	11.13	1.07	0.27	0.39	2.96	315.28
2012	179.05	377.07	272.79	87.27	47.05	7.98	1.91	0.35	0.15	1.68	1.62	3.49	980.41
2013	114.41	134.2	263.32	55.12	8.13	0.94	1.22	0.76	0.23	4.16	0.22	2.79	585.5
2014	107.14	79.19	17.37	6.32	86.19	8.49	1.06	0.53	1.55	2.55	1.69	3.62	315.7
2015	40.12	53	134.68	122.37	61.02	18.43	1.83	0.02	0.4	6.25	4.6	10.13	452.85
2016	142.1	123.65	141.8	100.5	4.25	0.84	0.29	0.11	0.7	0.4	0.58	1.36	516.58
2017	160.82	293.94	334.24	216.16	96.56	3.45	0.46	0.6	0.19	5.33	0.6	12.56	1124.91
2018	25.41	271.91	68.54	23.46	34.97	0.22	0.49	0.63	0.35	1.34	1.73	30.87	459.92
2019	74.49	141.48	138.82	64.42	23.61	10.73	0.57	0.3	0.37	1.41	6.78	20.88	483.86
2020	54.21	108.86	109.66	61.67	4.92	5.03	3.58	0.39	0.67	1.46	2.01	21.52	373.98
2021	191.41	79.95	224.48	49.64	30.14	39.7	0.37	0.5	6.56	4.33	20.98	40.56	688.62
Promedio Mensual	99.57	156.87	150.70	84.68	33.53	10.52	1.49	1.35	1.08	2.56	3.77	18.71	

Anexo 7. Datos de precipitaciones del visor "POWER" periodo 1990 al 2021 del área de estudio.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura	25.8	26.1	26.2	26.1	25.5	24.5	23.7	23.5	23.8	24.0	24.2	24.9
i	12.0	12.2	12.3	12.2	11.8	11.1	10.5	10.4	10.6	10.7	10.9	11.4
ETP sin corr	123.5	128.4	130.5	129.2	119.1	104.8	94.3	92.5	95.8	98.2	101.5	111.1
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.	128.7	120.8	136.0	130.3	124.1	105.6	98.3	96.4	96.6	102.4	102.4	115.8

Anexo 8. Datos y resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial.

Nivel estático de los pozos en m					
P1	P2	P3	Profundidad media		
2.2	0.75	0.8	1.25		
DATOS			CÁLCULOS		
Densidad del suelo (g/cm ³):	1.35	Volumen de la cuenca (m ³)	10812500	Masa de la cuenca (kg)	1.4597E+10
Área de a microcuenca Ayangue en km ² :	8.65	Masa de capacidad de campo sobre área de la cuenca (kg/m ²)		455.625	
Porcentaje de Capacidad de Campo en % según tipo de suelo	27	Capacidad de campo (mm)	455.63		

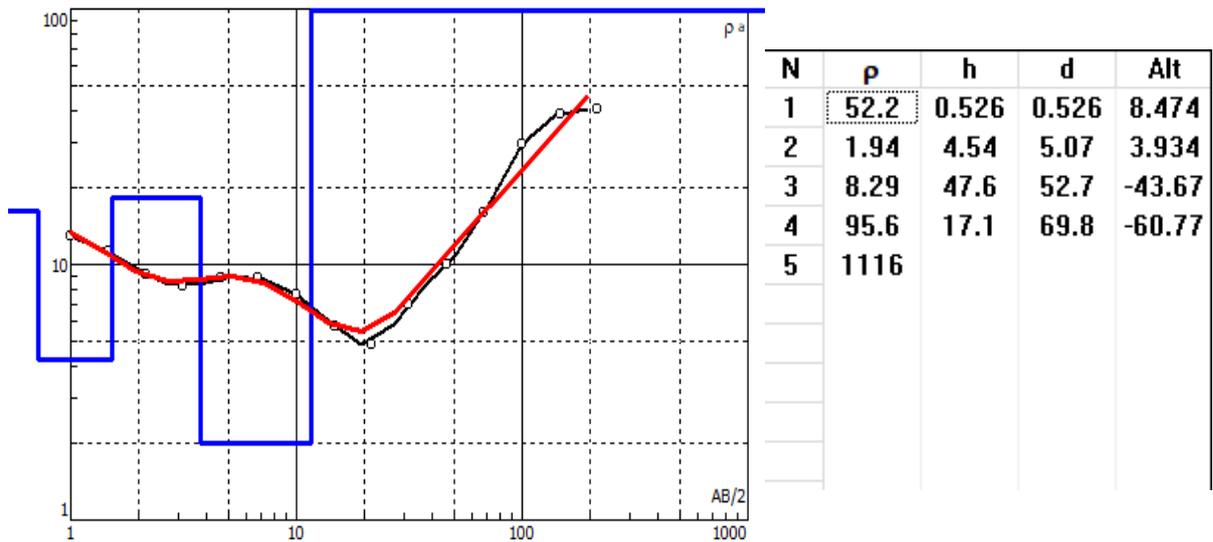
Anexo 9. Datos y resultados del cálculo de la capacidad máxima de campo de la microcuenca “Ayangue”.

Nivel estático de los pozos en m					
P1	P2	P3	Profundidad media		
2.2	0.75	0.8	1.25		
DATOS			CÁLCULOS		
Densidad del suelo (g/cm ³):	1.25	Volumen de la cuenca (m ³)	10700000	Masa de la cuenca (kg)	1.3375E+10
Área de a microcuenca Ayangue en km ² :	8.56	Masa de capacidad de campo sobre área de la cuenca (kg/m ²)		546.875	
Porcentaje de Capacidad de Campo en % según tipo de suelo	35	Capacidad de campo (mm)	546.88		

Anexo 10. Datos y resultados del cálculo de la capacidad máxima de campo de la microcuenca “Río Viejo”.

CÓDIGO:		SEV-01		N 100° A 40 m del pozo excavado. Izquierda del centro.	
FECHA:		12/2/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529519			
COORDENADAS Y:		9781423			
COORDENADAS Z:		53			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (mili*ohm)	Resistividad (ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	1,708.10	12.879
2	1.47	0.2	16.66	674.58	11.239
3	2.15	0.2	35.99	253.42	9.121
4	3.16	0.2	78.11	104.52	8.164
5	4.64	0.2	168.78	52.327	8.832
6	4.64	0.5	66.85	130.97	8.755
7	6.81	0.2	363.92	24.462	8.902
8	6.81	0.5	144.91	60.302	8.738
9	10	0.5	313.37	25.097	7.865
10	14.7	0.5	678.08	8.342	5.657
11	14.7	2	166.58	29.272	4.876
12	21.5	0.5	1451.42	2.631	3.819
13	21.5	2	359.91	8.146	2.932
14	31.6	2	781.13	4.936	3.856
15	46.4	2	1687.79	1.286	2.17
16	46.4	5	668.52	1.575	1.053
17	68.1	2	3639.24	1.682	6.121
18	68.1	5	1449.1	2.443	3.54
19	100	5	3133.75	28.644	89.763
20	100	10	1555.09	26.8	41.676
21	147	5	6780.83	13.875	94.084
22	147	10	3378.63	13.783	46.568
23	215	10	7245.3	11.997	86.922
24	215	20	3599.09	11.999	43.185

Anexo 11. Ficha del sondeo eléctrico vertical 1



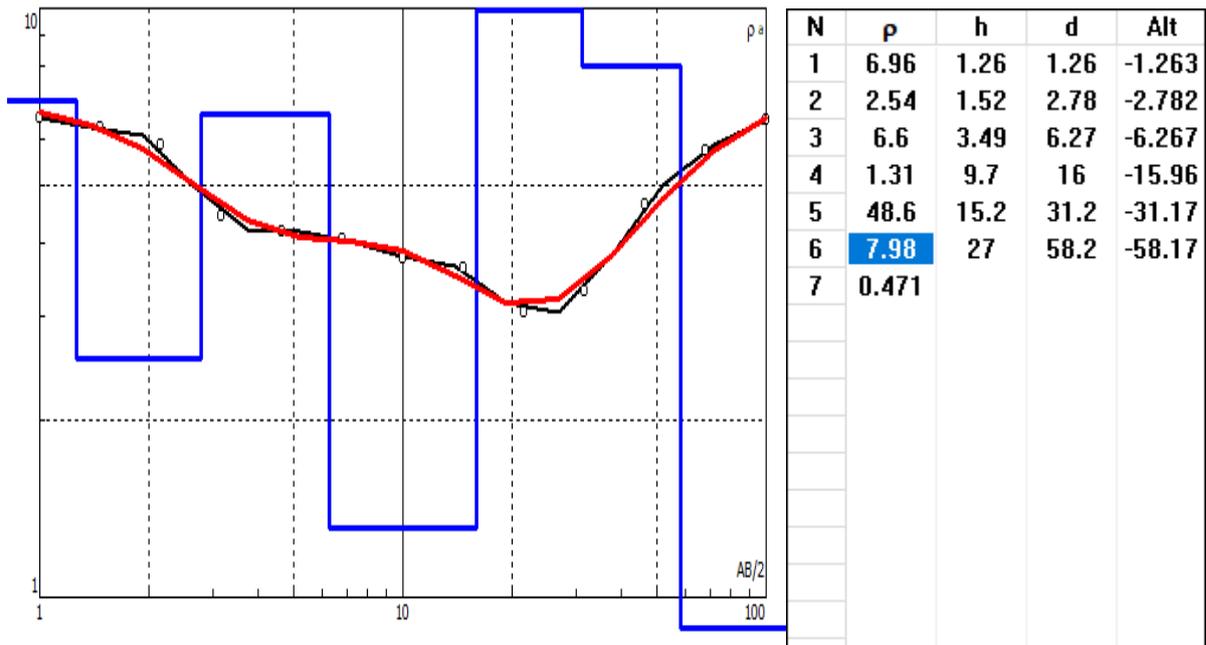
Anexo 12. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-01

N°	Resistividad	Espesor	Profundidad	Litología	Formación
1	52.2	0.5	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	1.9	4.5	5.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	8.3	47.6	52.6	Arcillas, limos y arenas	
4	95.6	17.1	69.7	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	F. Tablazo
5	1116.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	

Anexo 13. Resultados de la interpretación del SEV-01

CÓDIGO:		SEV-02		Familia Ponce	
FECHA:		8/3/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529392			
COORDENADAS Y:		9781530			
COORDENADAS Z:		36			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (mili*ohm)	Resistividad (ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	1.0246	7.7255
2	1.47	0.2	16.66	443.84	7.3944
3	2.15	0.2	35.99	191.79	6.9025
4	3.16	0.2	78.11	66.884	5.2243
5	4.64	0.2	168.78	29.175	4.9242
6	4.64	0.5	66.85	79.298	5.3011
7	6.81	0.2	363.92	13.225	4.8128
8	6.81	0.5	144.91	35.385	5.1276
9	10	0.5	313.37	14.366	4.5019
10	14.7	0.5	678.08	6.6655	4.5197
11	14.7	2	166.58	21.915	3.6506
12	21.5	0.5	1451.42	2.6764	3.8846
13	21.5	2	359.91	8.3399	3.0016
14	31.6	2	781.13	4.2284	3.3029
15	46.4	2	1687.79	3.3159	5.5965
16	46.4	5	668.52	6.0614	4.0522
17	68.1	2	3639.24	0.4092	1.4892
18	68.1	5	1449.1	0.1714	0.2484
19	100	5	3133.75	1.9806	6.2067
20	100	10	1555.09	2.8103	4.3703

Anexo 14. Ficha del sondeo eléctrico vertical 2



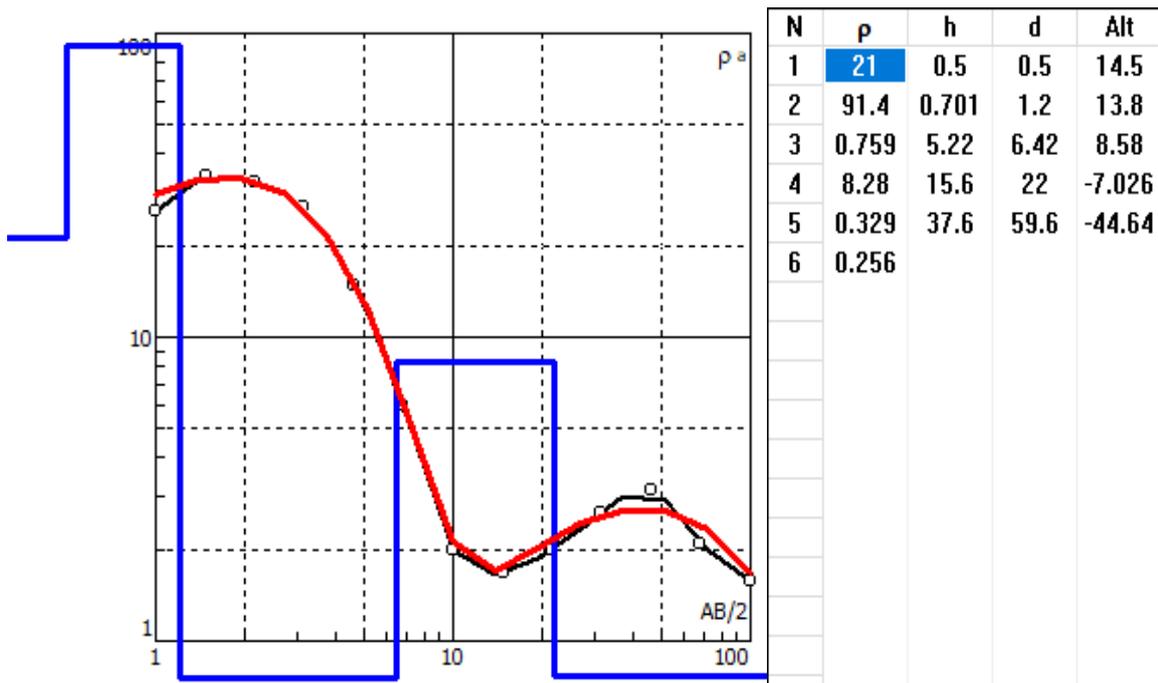
Anexo 15. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-02

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	6.96	1.3	1.3	Arcillas, limos y arenas	Depósitos aluviales
2	2.54	1.5	2.8	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	6.6	3.5	6.3	Arcillas, limos y arenas	
4	1.31	9.7	16.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
5	48.6	15.2	31.2	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
6	7.98	27.0	58.2	Arcillas, limos y arenas	
7	0.471			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 16. Resultados de la interpretación del SEV-02

CÓDIGO:		SEV-03		Juan Carlos representante comuna Ayangue	
FECHA:		8/3/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529420			
COORDENADAS Y:		9781824			
COORDENADAS Z:		15			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (mili*ohm)	Resistividad (ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	39,364	29.68
2	1.47	0.2	16.66	22,958	38.25
3	2.15	0.2	35.99	10,186	36.66
4	3.16	0.2	78.11	387.23	30.25
5	4.64	0.2	168.78	99,413	16.78
6	4.64	0.5	66.85	240.62	16.09
7	6.81	0.2	363.92	18,595	6.77
8	6.81	0.5	144.91	44,086	6.39
9	10	0.5	313.37	66,014	2.07
10	14.7	0.5	678.08	23,119	1.57
11	14.7	2	166.58	82,701	1.38
12	21.5	0.5	1451.42	11,084	1.61
13	21.5	2	359.91	35,202	1.27
14	31.6	2	781.13	31,804	2.48
15	46.4	2	1687.79	33,023	6.42
16	46.4	5	668.52	51,488	3.44
17	68.1	2	3639.24	0.1696	0.62
18	68.1	5	1449.1	0.8813	1.27
19	100	5	3133.75	0.4123	1.29
20	100	10	1555.09	0.6197	0.96

Anexo 17. Ficha del sondeo eléctrico vertical 3



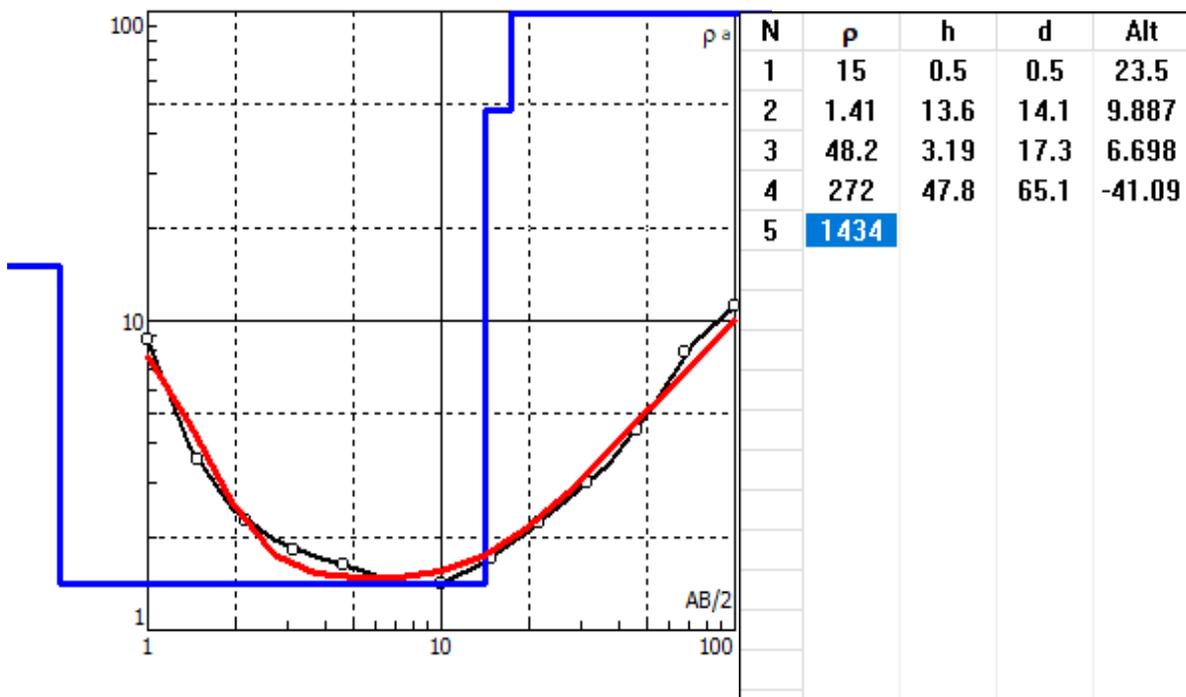
Anexo 18. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-03

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	21	0.5	0.5	Arcillas, limos y arenas	Depósitos aluviales
2	91.4	0.701	1.2	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
3	0.759	5.22	6.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	8.28	15.6	22.0	Arcillas, limos y arenas	
5	0.329	37.6	59.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
6	0.256			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 19. Resultados de la interpretación del SEV-03

CÓDIGO:		SEV-04		N54° Propiedad de David Laynes Chilan La dirección fue en dirección del arroyo	
FECHA:		2/7/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529356			
COORDENADAS Y:		9781656			
COORDENADAS Z:		24			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	1,0321 ohm	7.78
2	1.47	0.2	16.66	81.481	1.36
3	2.15	0.2	35.99	56.439	2.03
4	3.16	0.2	78.11	24.135	1.89
5	4.64	0.2	168.78	11.169	1.89
6	4.64	0.5	66.85	21.686	1.45
7	6.81	0.2	363.92	3.9951	1.45
8	6.81	0.5	144.91	8.2407	1.19
9	10	0.5	313.37	5.2959	1.66
10	14.7	0.5	678.08	1.6919	1.15
11	14.7	2	166.58	6.9427	1.16
12	21.5	0.5	1451.42	1.5705	2.23
13	21.5	2	359.91	4.1537	1.49
14	31.6	2	781.13	2.0129	1.57
15	46.4	2	1687.79	1.5636	2.64
16	46.4	5	668.52	3.0015	2.00
17	68.1	2	3639.24	2.7424	9.98
18	68.1	5	1449.1	3.2567	4.72
19	100	5	3133.75	3.5858	11.24
20	100	10	1555.09	3.9319	6.11

Anexo 20. Ficha del sondeo eléctrico vertical 4



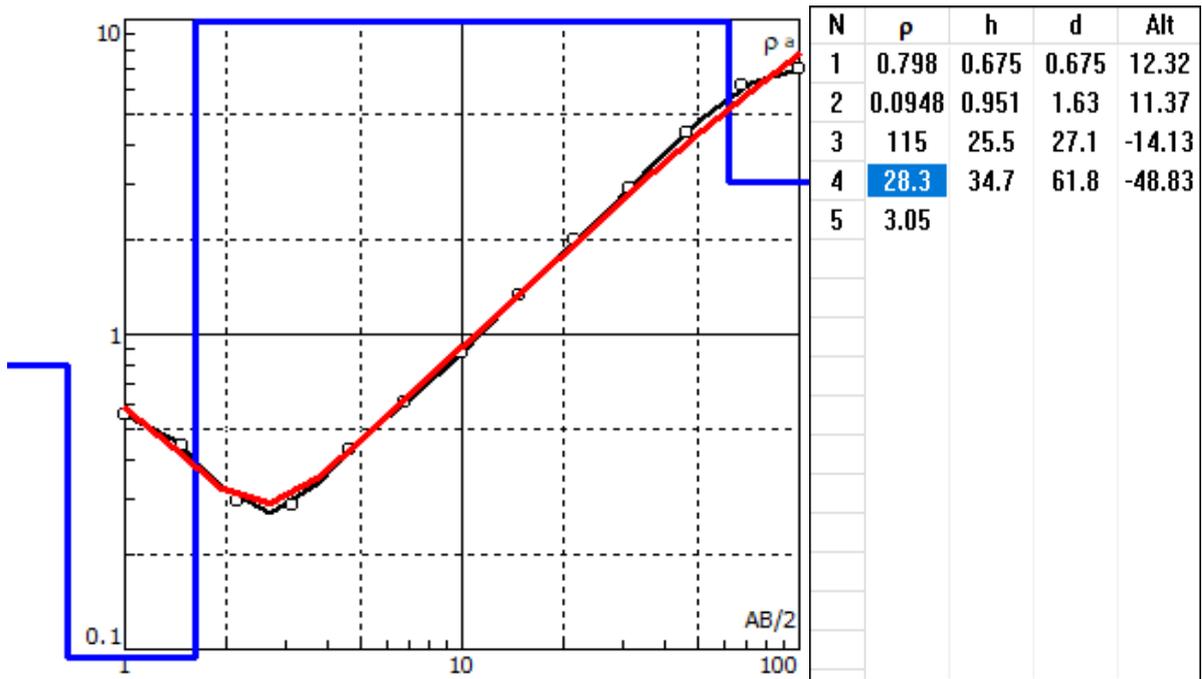
Anexo 21. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-04

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	15	0.5	0.5	Arcillas, limos y arenas	Depósitos coluvio aluviales
2	1.41	13.6	14.1	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	48.2	3.19	17.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
4	272	47.8	65.1	Areniscas	F. Tablazo
5	1434			Conglomerados, brechas, areniscas calcáreas	

Anexo 22. Resultados de la interpretación del SEV-04

CÓDIGO:		SEV-05		N210° Propiedad de Hilario Malaquía Toala Zambrano Ese realizó en dirección a la quebrada Paralelo a la carretera	
FECHA:		2/7/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529007			
COORDENADAS Y:		9781633			
COORDENADAS Z:		9			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	173.62	1.31
2	1.47	0.2	16.66	62,176	1.04
3	2.15	0.2	35.99	19,404	0.698
4	3.16	0.2	78.11	85,548	0.67
5	4.64	0.2	168.78	29,839	0.5
6	4.64	0.5	66.85	92,668	0.62
7	6.81	0.2	363.92	39,046	1.42
8	6.81	0.5	144.91	72,468	1.06
9	10	0.5	313.37	67,716	2.12
10	14.7	0.5	678.08	3,878	2.63
11	14.7	2	166.58	74,473	1.24
12	21.5	0.5	1451.42	29,314	4.25
13	21.5	2	359.91	48,957	1.76
14	31.6	2	781.13	28,851	2.25
15	46.4	2	1687.79	29,188	4.91
16	46.4	5	668.52	41,302	2.76
17	68.1	2	3639.24	51,476	18.73
18	68.1	5	1449.1	54,514	7.9
19	100	5	3133.75	12,272	3.99
20	100	10	1555.09	17,469	2.79

Anexo 23. Ficha del sondeo eléctrico vertical 5



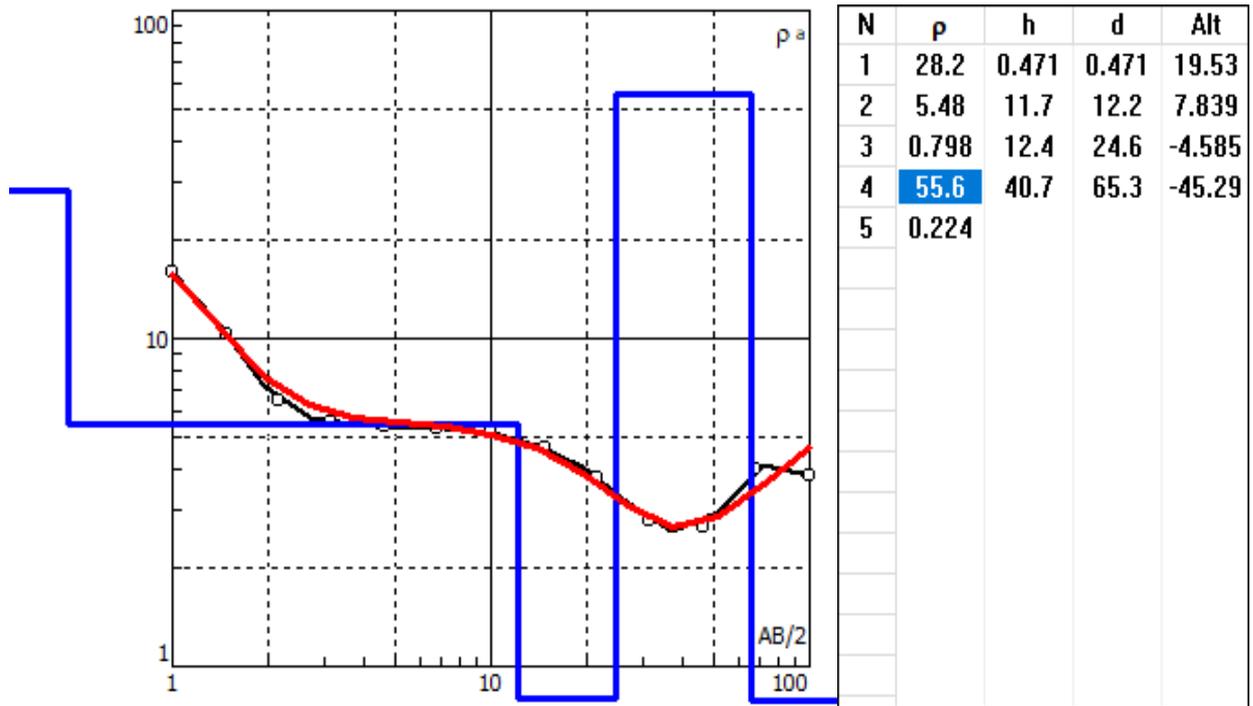
Anexo 24. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-05

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	0.8	0.7	0.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización	Depósitos aluviales
2	0.1	1.0	1.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	115.0	25.5	27.2	Areniscas	F. Tablazo
4	28.3	34.7	61.9	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
5	3.1			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 25. Resultados de la interpretación del SEV-05

CÓDIGO:		SEV06		N°309 Propiedad de Cristhian Coronel	
FECHA:		2/7/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		528993			
COORDENADAS Y:		9781264			
COORDENADAS Z:		20			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	2,3818 ohm	17.96
2	1.47	0.2	16.66	789.35	13.3
3	2.15	0.2	35.99	239.28	8.61
4	3.16	0.2	78.11	68.346	5.34
5	4.64	0.2	168.78	27.335	4.614
6	4.64	0.5	66.85	66.776	4.46
7	6.81	0.2	363.92	12.285	4.47
8	6.81	0.5	144.91	27.242	3.9
9	10	0.5	313.37	10.458	3.28
10	14.7	0.5	678.08	4.5563	3.09
11	14.7	2	166.58	15.788	2.63
12	21.5	0.5	1451.42	3.9137	5.68
13	21.5	2	359.91	8.7375	3.14
14	31.6	2	781.13	5.8271	4.55
15	46.4	2	1687.79	1.6662	2.81
16	46.4	5	668.52	3.3581	2.24
17	68.1	2	3639.24	1.2401	4.51
18	68.1	5	1449.1	2.0244	2.93
19	100	5	3133.75	2.5722	8.06
20	100	10	1555.09	4.1203	6.52

Anexo 26. Ficha del sondeo eléctrico vertical 6



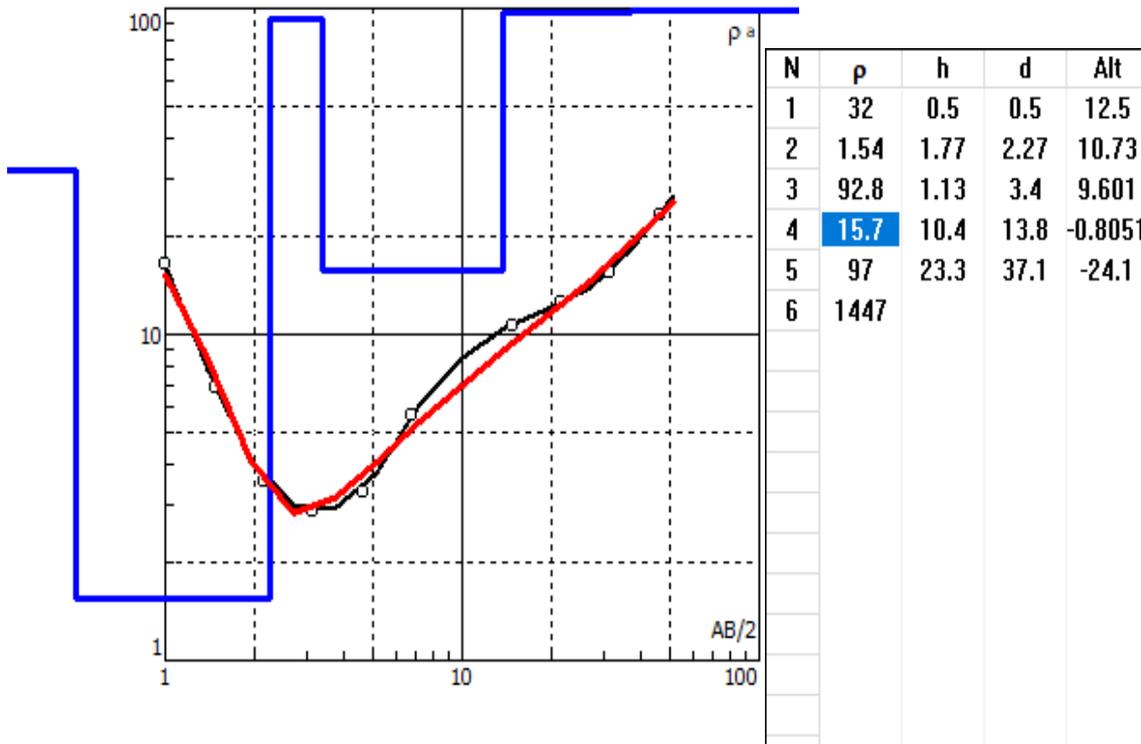
Anexo 27. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-06

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	28.2	0.5	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos aluviales
2	5.5	11.7	12.2	Arcillas, limos y arenas	
3	0.8	12.4	24.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	55.6	40.7	65.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
5	0.2			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 28. Resultados de la interpretación del SEV-06

CÓDIGO:		SEV-07		Hacienda de Nelson Salinas En dirección del río, entre la quebrada y las plantaciones. Rumbo: N243°	
FECHA:		28/8/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		528542			
COORDENADAS Y:		9781234			
COORDENADAS Z:		13			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	3.1801	23.98
2	1.47	0.2	16.66	601.89	10.02
3	2.15	0.2	35.99	107.38	3.86
4	3.16	0.2	78.11	26.702	2.09
5	4.64	0.2	168.78	8.6793	1.46
6	4.64	0.5	66.85	28.532	1.91
7	6.81	0.2	363.92	31.162	11.34
8	6.81	0.5	144.91	67.949	9.85
9	10	0.5	313.37	210.62	65.97
10	14.7	0.5	678.08	2.341	1.59
11	14.7	2	166.58	6.4528	1.07
12	21.5	0.5	1451.42	60.792	88.23
13	21.5	2	359.91	64.931	23.37
14	31.6	2	781.13	3.9991	3.12
15	46.4	2	1687.79	3.497	5.59
16	46.4	5	668.52	4.6841	3.13

Anexo 29. Ficha del sondeo eléctrico vertical 7



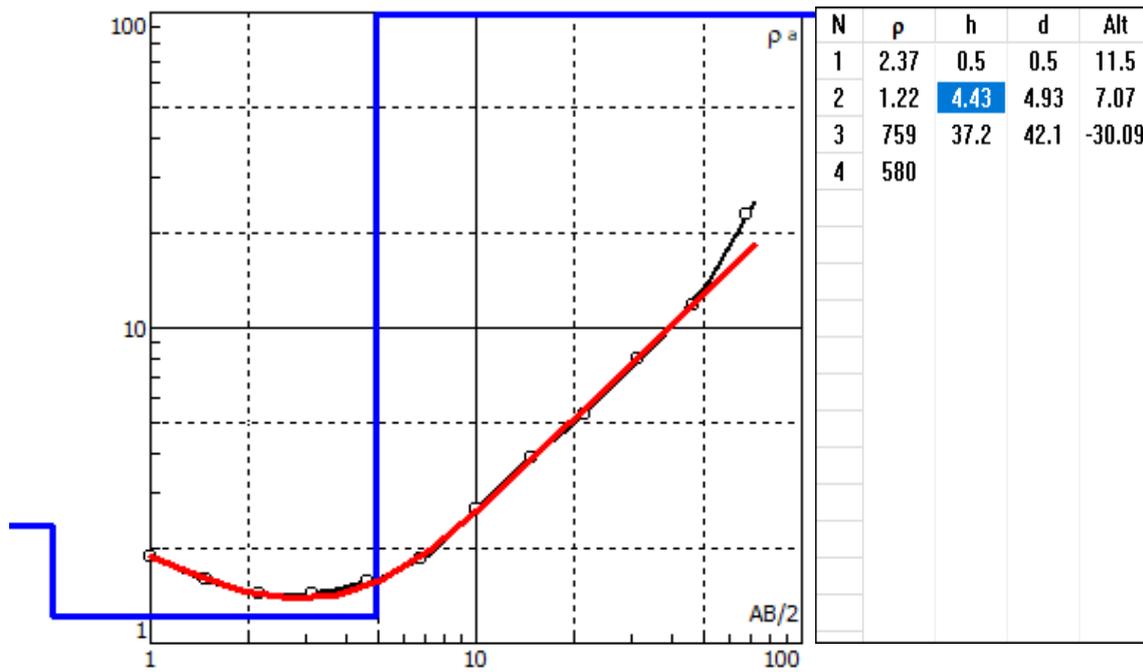
Anexo 30. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-07

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	32.0	0.5	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos aluviales
2	1.5	1.8	2.3	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	92.8	1.1	3.4	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
4	15.7	10.4	13.8	Arcillas, limos y arenas	
5	97.0	23.3	37.1	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
6	1447.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	F. Tablazo

Anexo 31. Resultados de la interpretación del SEV-07

CÓDIGO:		SEV-08		Propiedad de Raúl Guale Rumbo: N245°	
FECHA:		24/8/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		528722			
COORDENADAS Y:		9781225			
COORDENADAS Z:		12			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	177.32	1.34
2	1.47	0.2	16.66	62.466	1.04
3	2.15	0.2	35.99	24.451	0.88
4	3.16	0.2	78.11	5.6125	0.44
5	4.64	0.2	168.78	1.4385	0.24
6	4.64	0.5	66.85	7.3384	0.49
7	6.81	0.2	363.92	4.9029	1.78
8	6.81	0.5	144.91	7.4188	1.08
9	10	0.5	313.37	8.2369	2.58
10	14.7	0.5	678.08	3.3819	2.29
11	14.7	2	166.58	5.7232	0.95
12	21.5	0.5	1451.42	2.1805	3.16
13	21.5	2	359.91	3.4401	1.24
14	31.6	2	781.13	0.6329	0.49
15	46.4	2	1687.79	1.3603	2.3
16	46.4	5	668.52	2.1668	1.45
17	68.1	2	3639.24	33.714	122.69
18	68.1	5	1449.1	39.003	85.5

Anexo 32. Ficha del sondeo eléctrico vertical 8



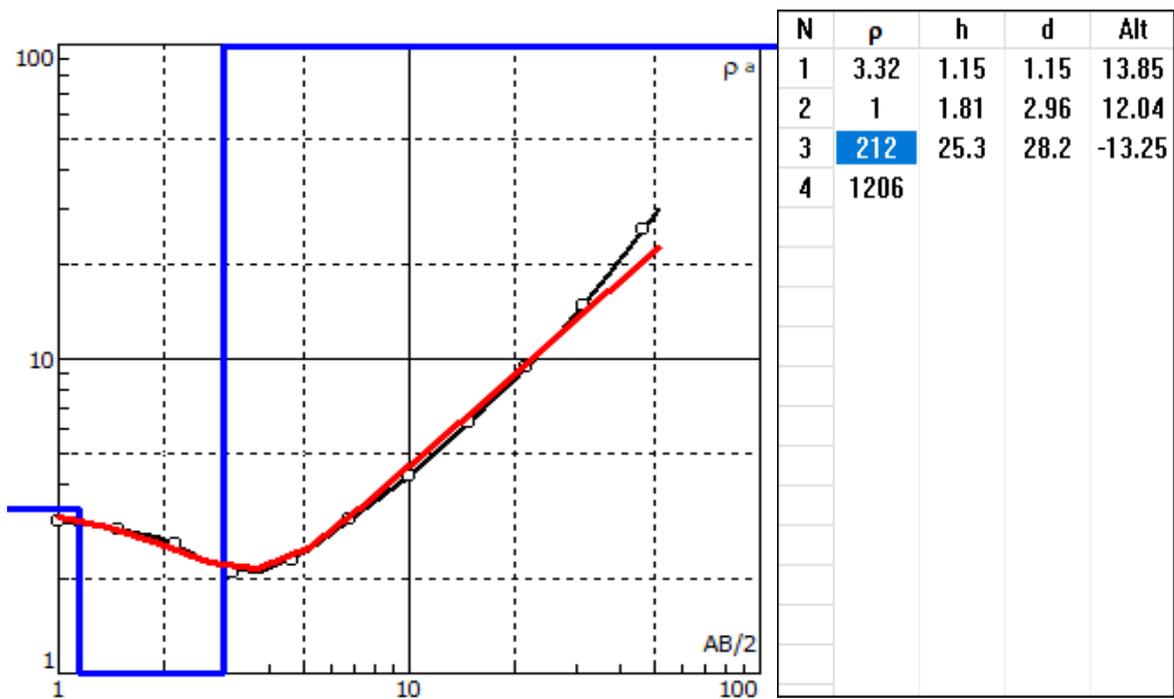
Anexo 33. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-08

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	2.4	0.5	0.5	Arcillas, limos y arenas	Depósitos aluviales
2	1.2	4.4	4.9	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	759.0	37.2	42.1	Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	F. Tablazo
4	580.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	

Anexo 34. Resultados de la interpretación del SEV-08

CÓDIGO:		SEV-09		Propiedad de Agustín Cochea Paralelo a la pista de avionetas N78°	
FECHA:		24/8/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		528759			
COORDENADAS Y:		9781390			
COORDENADAS Z:		15			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	415.37	3.13
2	1.47	0.2	16.66	177.08	2.95
3	2.15	0.2	35.99	74.091	2.66
4	3.16	0.2	78.11	26.334	2.06
5	4.64	0.2	168.78	13.941	2.35
6	4.64	0.5	66.85	25.257	1.69
7	6.81	0.2	363.92	8.6856	3.16
8	6.81	0.5	144.91	13.083	1.9
9	10	0.5	313.37	8.0007	2.51
10	14.7	0.5	678.08	3.1707	2.15
11	14.7	2	166.58	5.7936	0.97
12	21.5	0.5	1451.42	8.16	1.18
13	21.5	2	359.91	9.0988	3.27
14	31.6	2	781.13	22.403	17.5
15	46.4	2	1687.79	44.439	75
16	46.4	5	668.52	48.093	32.15

Anexo 35. Ficha del sondeo eléctrico vertical 9



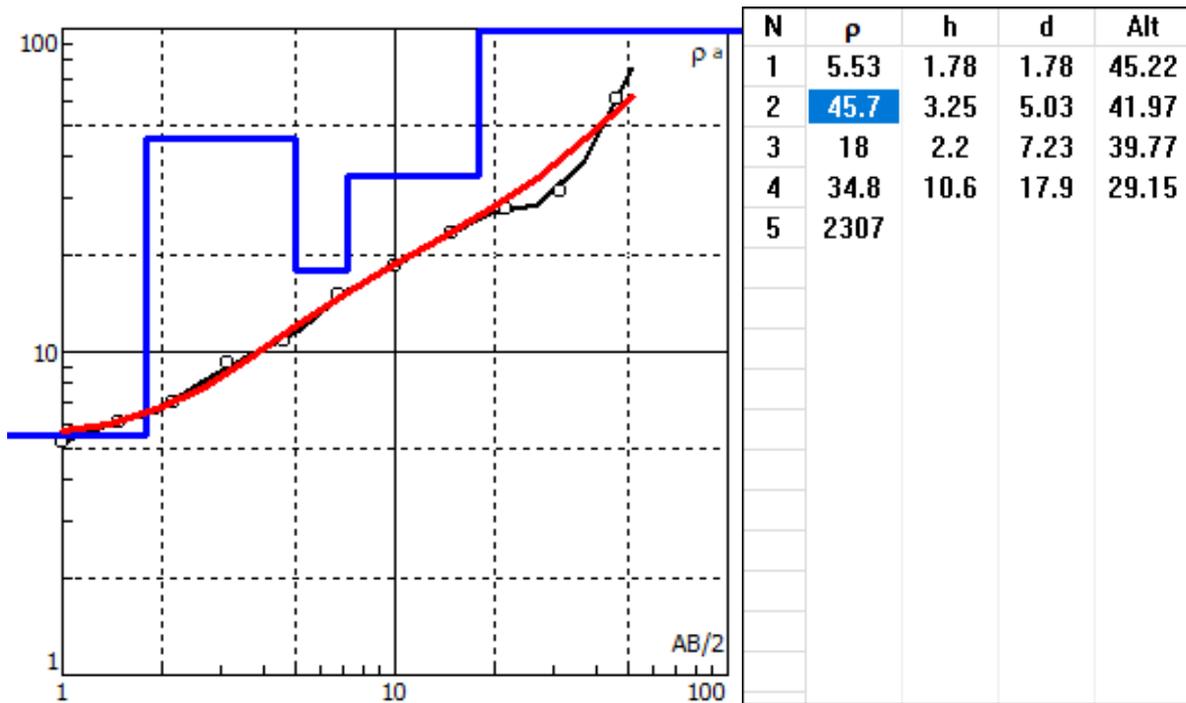
Anexo 36. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-09

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	3.3	1.2	1.2	Arcillas, limos y arenas	Depósitos aluviales
2	1.0	1.8	3.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	212.0	25.3	28.3	Areniscas	F. Tablazo
4	1206.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	

Anexo 37. Resultados de la interpretación del SEV-09

CÓDIGO:		SEV- 10			
FECHA:		27/10/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		528406			
COORDENADAS Y:		9780093			
COORDENADAS Z:		47			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (mili*ohm)	Resistividad (ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	680.64	5.13
2	1.47	0.2	16.66	359.19	5.98
3	2.15	0.2	35.99	189.08	6.80
4	3.16	0.2	78.11	115.59	9.03
5	4.64	0.2	168.78	62.567	10.56
6	4.64	0.5	66.85	132.71	8.87
7	6.81	0.2	363.92	42.450	15.45
8	6.81	0.5	144.91	91.176	13.21
9	10	0.5	313.37	51.453	16.28
10	14.7	0.5	678.08	30.412	20.62
11	14.7	2	166.58	120.41	20.06
12	21.5	0.5	1451.42	16.93	24.57
13	21.5	2	359.91	67.109	24.15
14	31.6	2	781.13	29.560	23.09
15	46.4	2	1687.79	30.894	52.14
16	46.4	5	668.52	90.016	60.18

Anexo 38. Ficha del sondeo eléctrico vertical 10



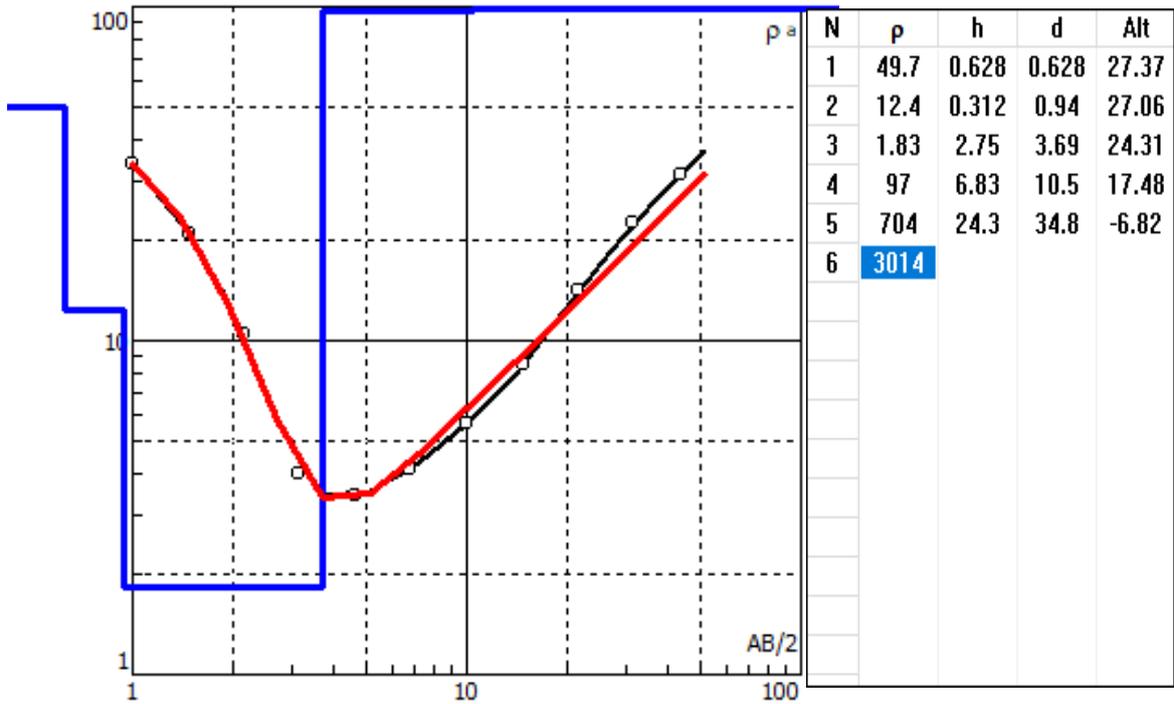
Anexo 39. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-10

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	5.5	1.8	1.8	Arcillas, limos y arenas	F. Tablazo
2	45.7	3.3	5.1	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
3	18.0	2.2	7.3	Arcillas, limos y arenas	
4	34.8	10.6	17.9	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
5	2307.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	

Anexo 40. Resultados de la interpretación del SEV-10

CÓDIGO:		SEV-11			
FECHA:		27/10/2021			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529364			
COORDENADAS Y:		9781855			
COORDENADAS Z:		28			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (mili*ohm)	Resistividad (ohm*metro)
1	1	0.2	7.54	8.9919	67.80
2	1.47	0.2	16.66	2.5088	41.80
3	2.15	0.2	35.99	578.23	20.81
4	3.16	0.2	78.11	102.78	8.03
5	4.64	0.2	168.78	24.695	4.17
6	4.64	0.5	66.85	48.606	3.25
7	6.81	0.2	363.92	25.274	9.195
8	6.81	0.5	144.91	109.029	15.795
9	10	0.5	313.37	18.732	5.87
10	14.7	0.5	678.08	20.717	14.01
11	14.7	2	166.58	29.5755	4.925
12	21.5	0.5	1451.42	26.020	37.77
13	21.5	2	359.91	29.442	10.595
14	31.6	2	781.13	28.620	22.36
15	44	2	1517.388	28.691	43.54
16	44	5	600.358	30.547	18.34

Anexo 41. Ficha del sondeo eléctrico vertical 11



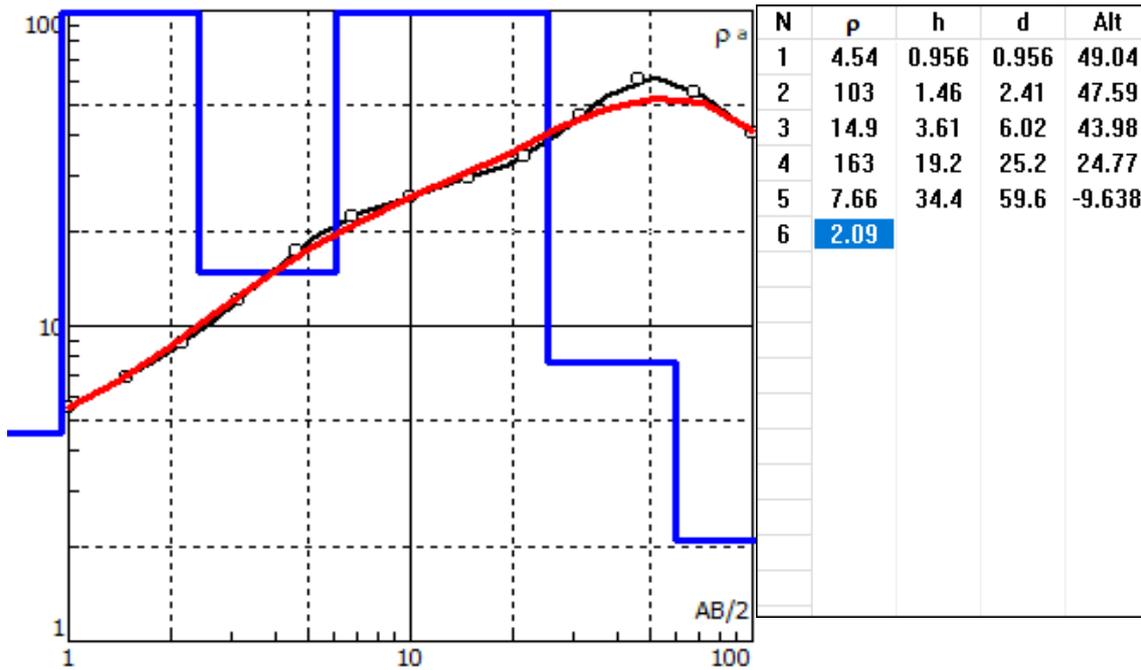
Anexo 42. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-11

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	49.7	0.6	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósito aluvial
2	12.4	0.3	0.8	Arcillas, limos y arenas	
3	1.8	2.8	3.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	97.0	6.8	10.4	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
5	704.0	24.3	34.7	Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	F. Tablazo
6	3014.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	

Anexo 43. Resultados de la interpretación del SEV-11

CÓDIGO:		SEV-12		En la carretera Azimut:56°N	
FECHA:		6/4/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		528414			
COORDENADAS Y:		9780140			
COORDENADAS Z:		50			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	637.79	4.809
2	1.47	0.2	16.66	361.16	6.017
3	2.15	0.2	35.99	215.5	7.756
4	3.16	0.2	78.11	135.68	10.598
5	4.64	0.2	168.78	89.597	15.122
6	4.64	0.5	66.85	274.86	18.374
7	6.81	0.2	363.92	53.83	19.59
8	6.81	0.5	144.91	164.19	23.793
9	10	0.5	313.37	87.028	27.272
10	14.7	0.5	678.08	46.135	31.283
11	14.7	2	166.58	183.41	30.552
12	21.5	0.5	1451.42	25.256	36.657
13	21.5	2	359.91	96.555	34.751
14	31.6	2	781.13	60.869	47.547
15	46.4	2	1687.79	38.311	64.661
16	46.4	5	668.52	91.955	61.474
17	68.1	2	3639.24	15.72	57.209
18	68.1	5	1449.1	37.38	54.167
19	100	5	3133.75	8.3296	26.103
20	100	10	1555.09	19.823	30.827

Anexo 44. Ficha del sondeo eléctrico vertical 12



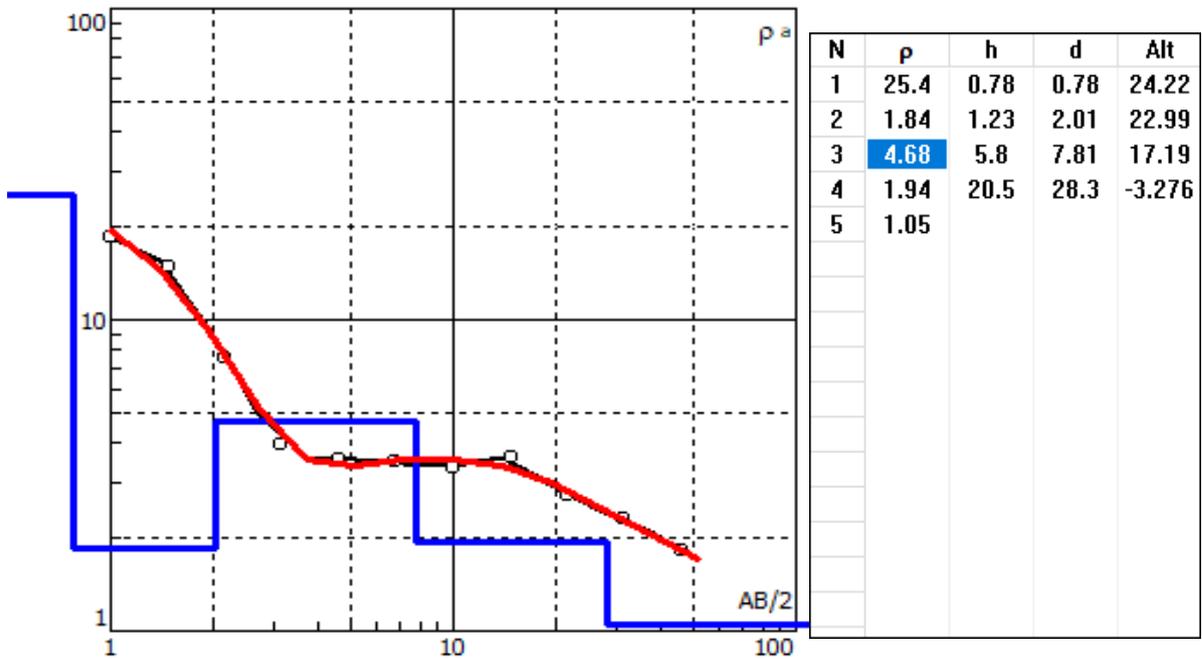
Anexo 45. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-12

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	4.5	1.0	1.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización	F. Tablazo
2	103.0	1.5	2.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
3	14.9	3.6	6.1	Arcillas, limos y arenas	
4	163.0	19.2	25.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
5	7.7	34.4	59.7	Arcillas, limos y arenas	
6	2.1			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 46. Resultados de la interpretación del SEV-12

CÓDIGO:		SEV-13		Cerca de contacto, camino de tierra N 93°	
FECHA:		6/4/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		529130			
COORDENADAS Y:		9780884			
COORDENADAS Z:		25			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	2.9386	22.157
2	1.47	0.2	16.66	1.0679	17.791
3	2.15	0.2	35.99	253.33	9.117
4	3.16	0.2	78.11	61.773	4.825
5	4.64	0.2	168.78	24.775	4.182
6	4.64	0.5	66.85	53.968	3.608
7	6.81	0.2	363.92	11.852	4.313
8	6.81	0.5	144.91	23.629	3.424
9	10	0.5	313.37	10.731	3.363
10	14.7	0.5	678.08	5.1826	3.514
11	14.7	2	166.58	19.538	3.255
12	21.5	0.5	1451.42	1.9035	2.763
13	21.5	2	359.91	6.5306	2.35
14	31.6	2	781.13	2.5956	2.028
15	46.4	2	1687.79	0.9579	1.617
16	46.4	5	668.52	2.1562	1.441

Anexo 47. Ficha del sondeo eléctrico vertical 13



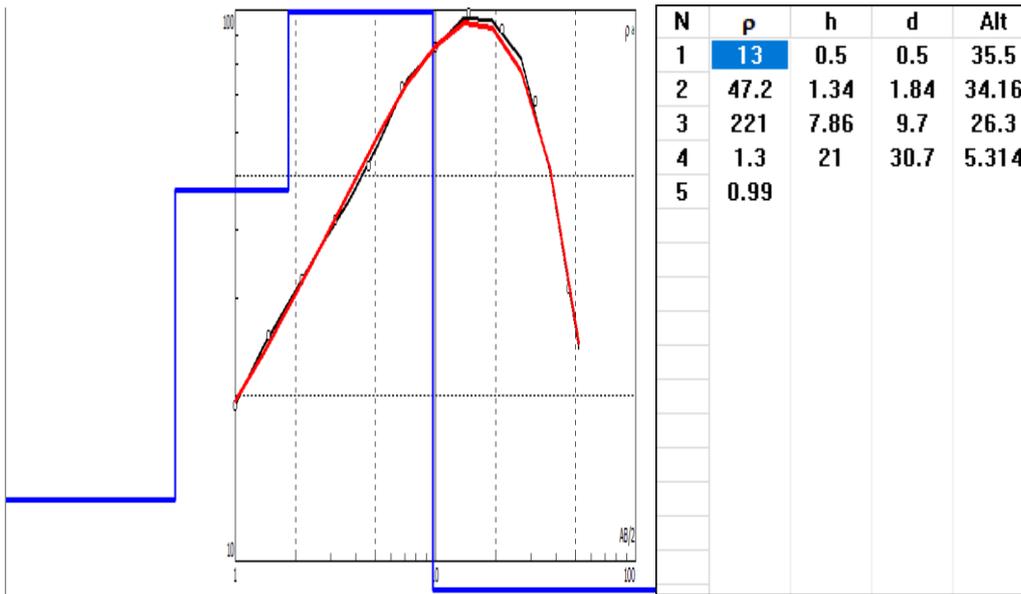
Anexo 48. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-13

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	25.4	0.8	0.8	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos aluviales
2	1.8	1.2	2.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	4.7	5.8	7.8	Arcillas, limos y arenas	
4	1.9	20.5	28.3	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
5	1.1			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 49. Resultados de la interpretación del SEV-13

CÓDIGO:		SEV-14		Cerca de Cementerio Azimut: 93°N	
FECHA:		6/4/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		528598			
COORDENADAS Y:		9781766			
COORDENADAS Z:		36			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	2.6207	19.76
2	1.47	0.2	16.66	1.5857	26.418
3	2.15	0.2	35.99	924.47	33.272
4	3.16	0.2	78.11	546.09	42.655
5	4.64	0.2	168.78	318.02	53.675
6	4.64	0.5	66.85	764.15	51.083
7	6.81	0.2	363.92	204.27	74.338
8	6.81	0.5	144.91	487.57	70.654
9	10	0.5	313.37	266.33	83.46
10	14.7	0.5	678.08	149.89	101.637
11	14.7	2	166.58	622.95	103.771
12	21.5	0.5	1451.42	63.603	92.315
13	21.5	2	359.91	260.2	93.649
14	31.6	2	781.13	87.762	68.554
15	46.4	2	1687.79	15.899	26.834
16	46.4	5	668.52	40.112	26.816

Anexo 50. Ficha del sondeo eléctrico vertical 14



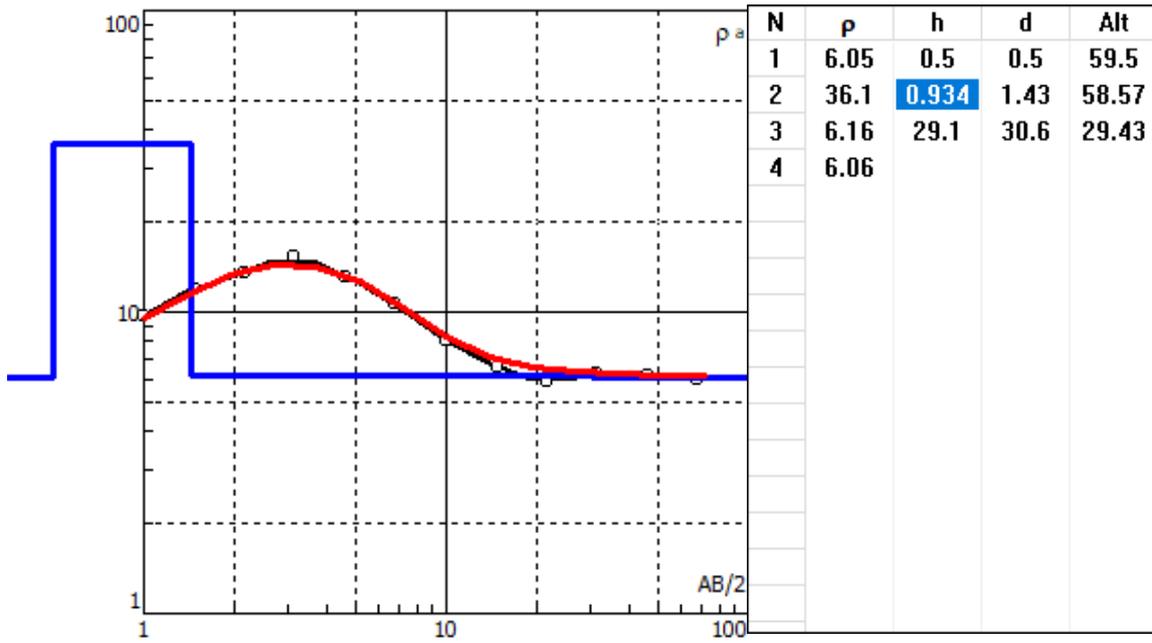
Anexo 51. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-14

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	13.0	0.5	0.5	Arcillas, limos y arenas	Miembro Zapotal
2	47.2	1.3	1.8	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
3	221.0	7.9	9.7	Areniscas	
4	1.3	21.0	30.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
5	1.0			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 52. Resultados de la interpretación del SEV-14

CÓDIGO:		SEV-15		Cerca a los Tanques Reservorios, camino de Tierra N 60°	
FECHA:		7/4/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		530739			
COORDENADAS Y:		9781516			
COORDENADAS Z:		60			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	1.1914	8.983
2	1.47	0.2	16.66	668.66	11.14
3	2.15	0.2	35.99	350.99	12.632
4	3.16	0.2	78.11	180.98	14.136
5	4.64	0.2	168.78	72.396	12.219
6	4.64	0.5	66.85	196.18	13.115
7	6.81	0.2	363.92	27.107	9.865
8	6.81	0.5	144.91	73.013	10.58
9	10	0.5	313.37	25.648	8.037
10	14.7	0.5	678.08	9.4144	6.384
11	14.7	2	166.58	48.326	8.05
12	21.5	0.5	1451.42	4.1705	6.053
13	21.5	2	359.91	18.932	6.814
14	31.6	2	781.13	9.568	7.474
15	46.4	2	1687.79	4.3314	7.31
16	46.4	5	668.52	13.782	9.214
17	68.1	2	3639.24	1.9719	7.176
18	68.1	5	1449.1	6.0326	8.742

Anexo 53. Ficha del sondeo eléctrico vertical 15



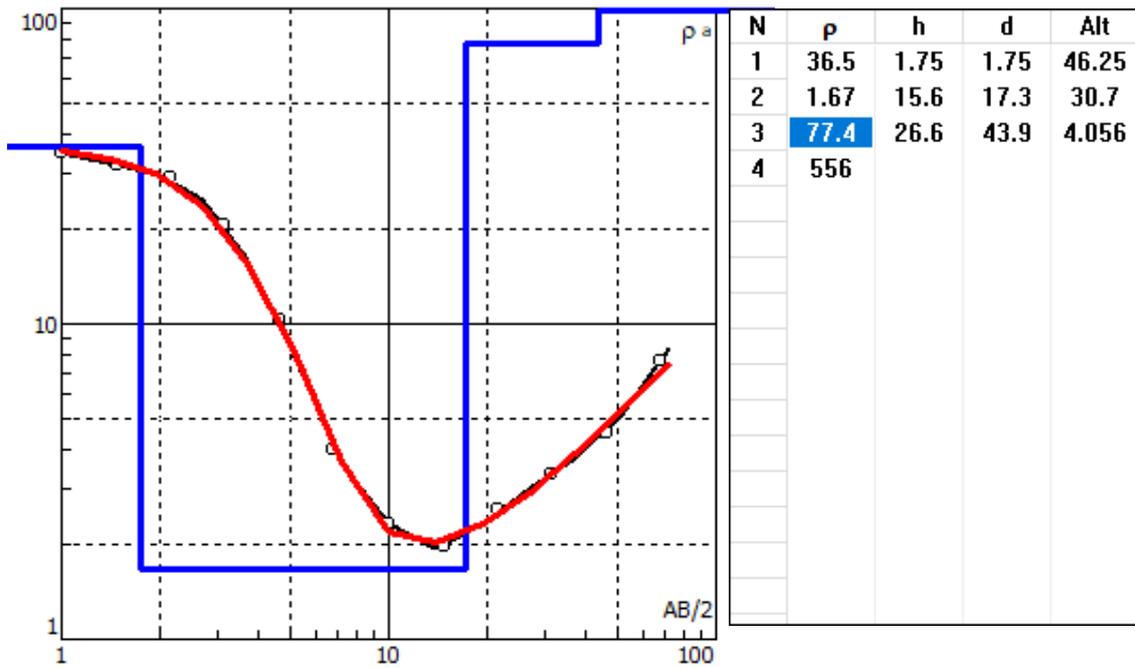
Anexo 54. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-15

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	6.1	0.5	0.5	Arcillas, limos y arenas	F. Tablazo
2	36.1	0.9	1.4	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
3	6.2	29.1	30.5	Arcillas, limos y arenas	
4	6.1			Arcillas, limos y arenas	

Anexo 55. Resultados de la interpretación del SEV-15

CÓDIGO:		SEV-16		Cerca de la carretera entrada de Ayangué. Colina. Límite con San Pedro.	
FECHA:		7/4/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		530009			
COORDENADAS Y:		9782273			
COORDENADAS Z:		48			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	6.5158	49.129
2	1.47	0.2	16.66	2.6814	44.672
3	2.15	0.2	35.99	1.125	40.489
4	3.16	0.2	78.11	366.5	28.627
5	4.64	0.2	168.78	85.429	14.419
6	4.64	0.5	66.85	186.01	12.435
7	6.81	0.2	363.92	15.294	5.566
8	6.81	0.5	144.91	33.164	4.806
9	10	0.5	313.37	7.5891	2.378
10	14.7	0.5	678.08	3.0795	2.088
11	14.7	2	166.58	13.165	2.193
12	21.5	0.5	1451.42	3.1506	4.573
13	21.5	2	359.91	8.2848	2.982
14	31.6	2	781.13	3.3882	2.647
15	46.4	2	1687.79	1.3062	2.205
16	46.4	5	668.52	5.504	3.68
17	68.1	2	3639.24	2.6873	9.78
18	68.1	5	1449.1	5.3482	7.75

Anexo 56. Ficha del sondeo eléctrico vertical 16



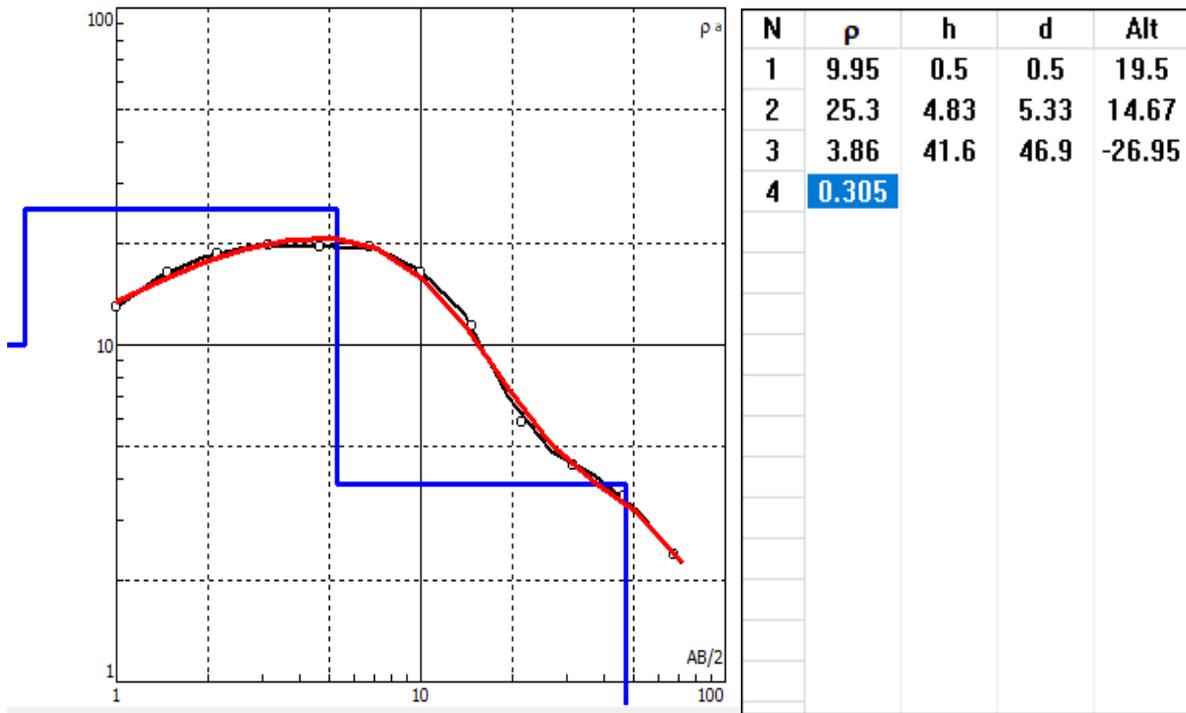
Anexo 57. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-16

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	36.5	1.8	1.8	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Miembro Zapotal
2	1.7	15.6	17.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	77.4	26.6	44.0	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
4	556.0			Areniscas	

Anexo 58. Resultados de la interpretación del SEV-16

CÓDIGO:		SEV-17		Azimut: 61°N	
FECHA:		7/4/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		529521			
COORDENADAS Y:		9782065			
COORDENADAS Z:		20			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	1.5491	11.68
2	1.47	0.2	16.66	895.11	14.913
3	2.15	0.2	35.99	468.27	16.853
4	3.16	0.2	78.11	229.34	17.914
5	4.64	0.2	168.78	75.859	12.803
6	4.64	0.5	66.85	241.1	16.118
7	6.81	0.2	363.92	38.002	13.83
8	6.81	0.5	144.91	120.77	17.501
9	10	0.5	313.37	47.211	14.795
10	14.7	0.5	678.08	15.108	10.244
11	14.7	2	166.58	68.738	11.45
12	21.5	0.5	1451.42	3.6648	5.319
13	21.5	2	359.91	16.385	5.897
14	31.6	2	781.13	5.6484	4.412
15	46.4	2	1687.79	2.3111	3.901
16	46.4	5	668.52	5.0864	3.4
17	68.1	2	3639.24	0.2846	1.036
18	68.1	5	1449.1	1.4354	2.08

Anexo 59. Ficha del sondeo eléctrico vertical 17



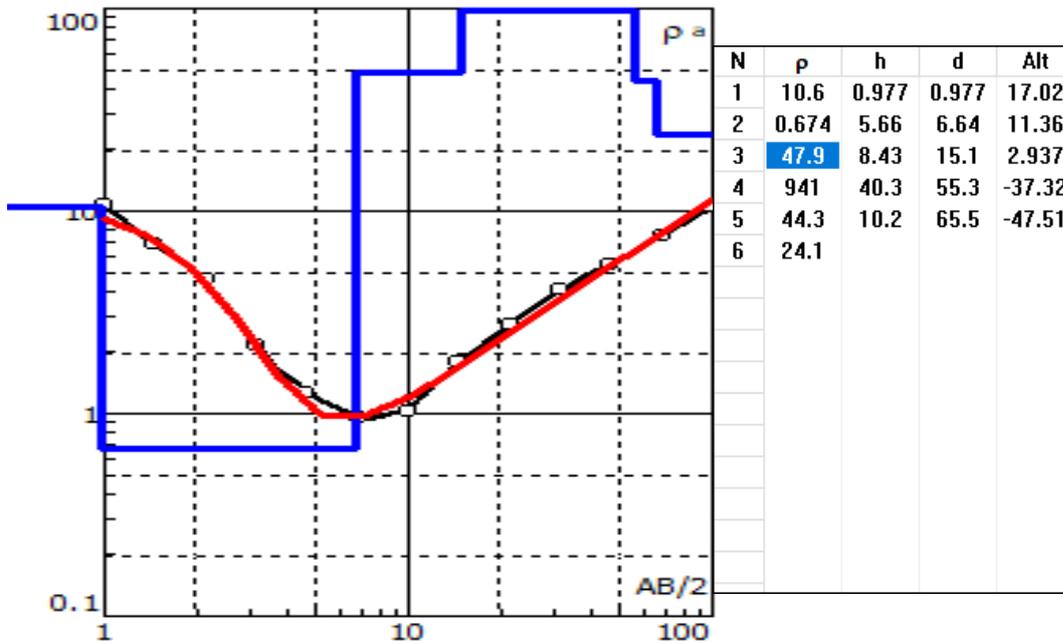
Anexo 60. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-17

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	10.0	0.5	0.5	Arcillas, limos y arenas	Depósito aluvial
2	25.3	4.8	5.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
3	3.9	41.6	46.9	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	0.3			Arcillas, limos, arenas con mineralización y humedad	

Anexo 61. Resultados de la interpretación del SEV-17

CÓDIGO:		SEV-18		Terreno cercano al de Kleber Rosales N167. Ramal que conecta con río principal	
FECHA:		9/6/2022			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		528685			
COORDENADAS Y:		9779954			
COORDENADAS Z:		18			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	4.498	33.913
2	1.47	0.2	16.66	1.3008	21.671
3	2.15	0.2	35.99	406.72	14.638
4	3.16	0.2	78.11	87.907	6.866
5	4.64	0.2	168.78	24.284	4.099
6	4.64	0.5	66.85	59.792	3.997
7	6.81	0.2	363.92	6.200	2.256
8	6.81	0.5	144.91	15.553	2.254
9	10	0.5	313.37	3.3721	1.057
10	14.7	0.5	678.08	7.9142	5.366
11	14.7	2	166.58	12.409	2.067
12	21.5	0.5	1451.42	7.4294	10.783
13	21.5	2	359.91	9.1592	3.296
14	31.6	2	781.13	4.5327	3.541
15	46.4	2	1687.79	6.4221	10.839
16	46.4	5	668.52	6.3658	4.256
17	68.1	2	3639.24	2.8216	10.268
18	68.1	5	1449.1	3.5692	5.172
19	100	5	3133.75	2.4056	7.539
20	100	10	1555.09	5.5493	8.630

Anexo 62. Ficha del sondeo eléctrico vertical 18



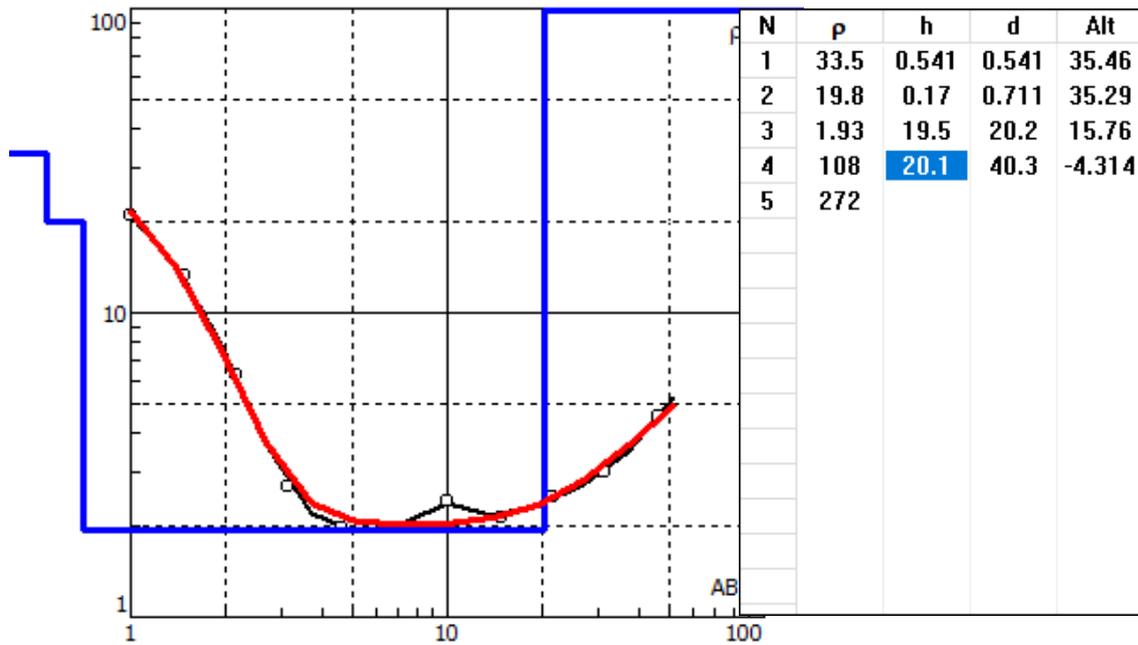
Anexo 63. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-18

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	10.6	1.0	1.0	Arcillas, limos y arenas	Depósitos coluvio aluviales
2	0.7	5.7	6.7	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	47.9	8.4	15.1	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
4	941.0	40.3	55.4	Areniscas	
5	44.3	10.2	65.6	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	F. Tablazo
6	24.1			Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	

Anexo 64. Resultados de la interpretación del SEV-18

CÓDIGO:		SEV-19		Cerca del terreno de Julio Orrala N221° Suelo arena y arcilla (húmedo) Bajo una colina	
FECHA:		9/6/2022			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529637			
COORDENADAS Y:		9780375			
COORDENADAS Z:		36 m			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	3.539	26.684
2	1.47	0.2	16.66	1.012	16.860
3	2.15	0.2	35.99	221.91	7.987
4	3.16	0.2	78.11	43.907	3.430
5	4.64	0.2	168.78	14.587	2.462
6	4.64	0.5	66.85	28.407	1.899
7	6.81	0.2	363.92	6.9664	2.535
8	6.81	0.5	144.91	12.169	1.763
9	10	0.5	313.37	9.0779	2.845
10	14.7	0.5	678.08	3.0155	2.045
11	14.7	2	166.58	10.72	1.786
12	21.5	0.5	1451.42	1.783	2.588
13	21.5	2	359.91	5.2803	1.900
14	31.6	2	781.13	3.0625	2.392
15	46.4	2	1687.79	2.1741	3.669
16	46.4	5	668.52	2.5901	1.732

Anexo 65. Ficha del sondeo eléctrico vertical 19



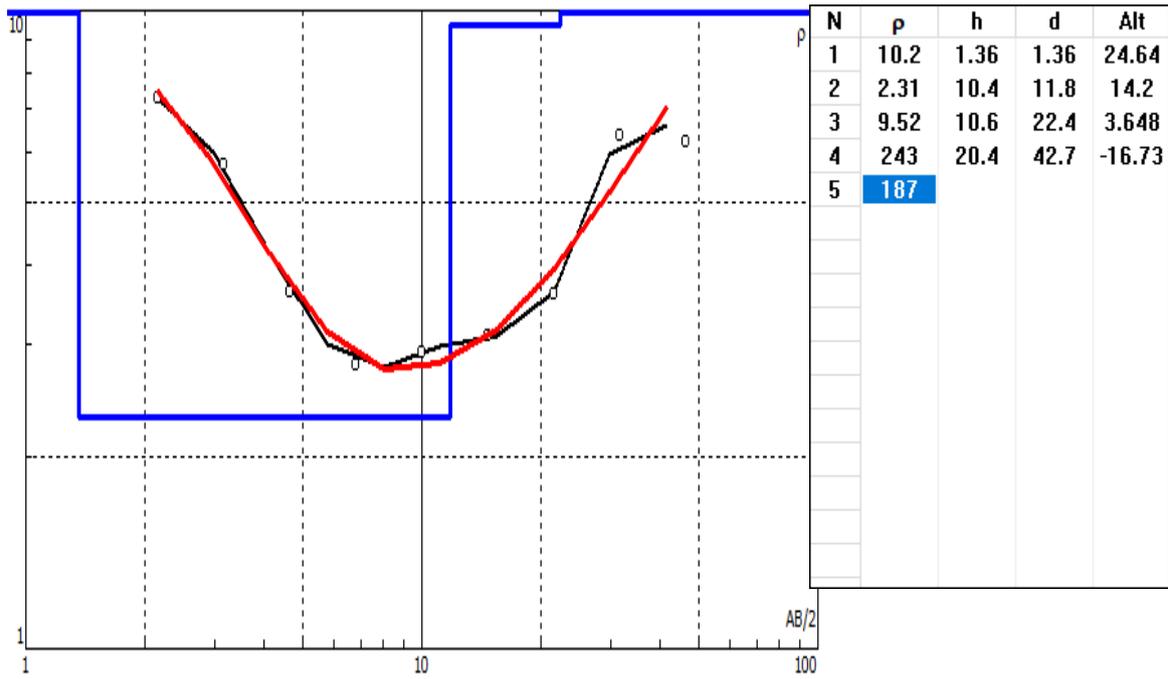
Anexo 66. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-19

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	33.5	0.5	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	19.8	0.2	0.7	Arcillas, limos y arenas	
3	1.9	19.5	20.2	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	108.0	20.1	40.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	F. Tablazo
5	272.0			Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	

Anexo 67. Resultados de la interpretación del SEV-19

CÓDIGO:		SEV-20		Cauce del río Propiedad de Luis Rodríguez. N95	
FECHA:		9/6/2022			
OPERADOR:		Ing. Ximena Quiñonez			
COORDENADAS X:		529450			
COORDENADAS Y:		9780795			
COORDENADAS Z:		26			
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K		
1	1	0.2	7.54	1.406	10.598
2	1.47	0.2	16.66	501.03	8.347
3	2.15	0.2	35.99	155.66	5.602
4	3.16	0.2	78.11	56.948	4.448
5	4.64	0.2	168.78	22.695	3.830
6	4.64	0.5	66.85	57.086	3.816
7	6.81	0.2	363.92	10.342	3.764
8	6.81	0.5	144.91	27.587	3.998
9	10	0.5	313.37	9.8443	3.085
10	14.7	0.5	678.08	5.2928	3.589
11	14.7	2	166.58	73.164	12.188
12	21.5	0.5	1451.42	6.1312	8.899
13	21.5	2	359.91	10.307	3.710
14	31.6	2	781.13	3.5817	2.798
15	46.4	2	1687.79	1.7768	2.999
16	46.4	5	668.52	5.5274	3.695

Anexo 68. Ficha del sondeo eléctrico vertical 20



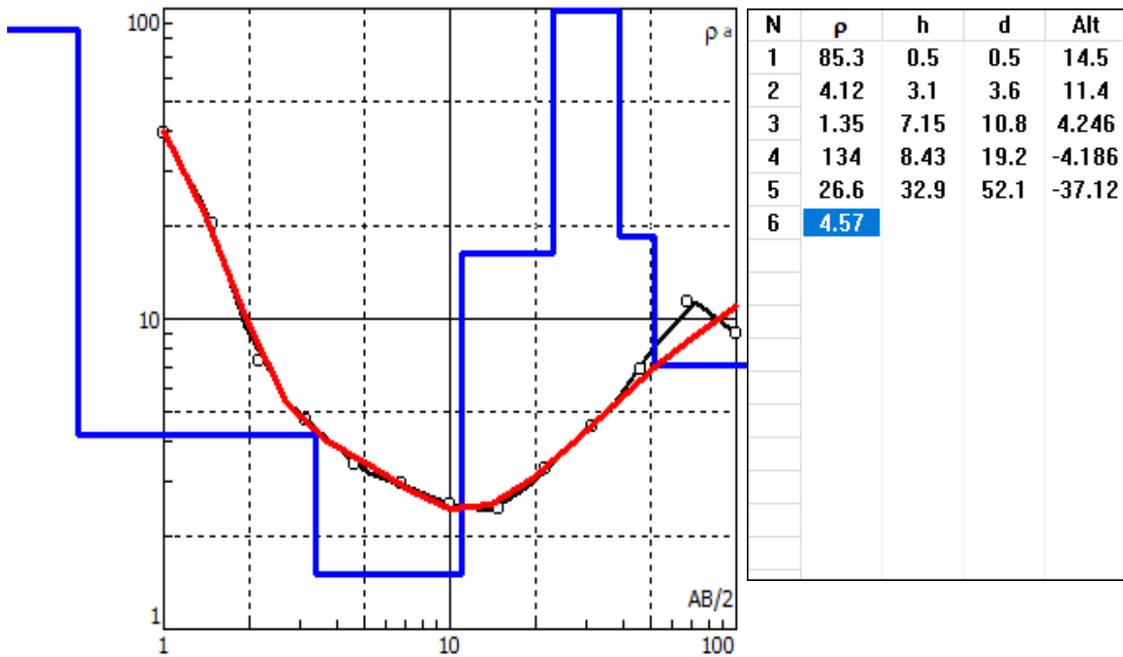
Anexo69. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-20

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	10.2	1.4	0.8	Arcillas, limos y arenas	Depósitos coluvio aluviales
2	2.3	10.4	11.2	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	9.5	10.6	21.8	Arcillas, limos y arenas	
4	243.0	20.4	42.2	Areniscas	F. Tablazo
5	187.0			Areniscas	

Anexo 70. Resultados de la interpretación del SEV-20

CÓDIGO:		SEV-21		Propiedad Estevan Ponce En ramal de río intermitente Rumbo N60°	
FECHA:		19/7/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		529739			
COORDENADAS Y:		9781543			
COORDENADAS Z:		15			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	6.826	51.46
2	1.47	0.2	16.66	1.573	26.21
3	2.15	0.2	35.99	262.44	9.45
4	3.16	0.2	78.11	78.589	6.14
5	4.64	0.2	168.78	25.308	4.27
6	4.64	0.5	66.85	66.804	4.47
7	6.81	0.2	363.92	10.807	3.93
8	6.81	0.5	144.91	25.067	3.63
9	10	0.5	313.37	10.265	3.22
10	14.7	0.5	678.08	3.9905	2.71
11	14.7	2	166.58	14.681	2.45
12	21.5	0.5	1451.42	3.5894	5.21
13	21.5	2	359.91	6.7198	2.42
14	31.6	2	781.13	5.7812	4.52
15	46.4	2	1687.79	3.6323	6.13
16	46.4	5	668.52	7.577	5.07
17	68.1	2	3639.24	5.1869	18.88
18	68.1	5	1449.1	6.8449	9.92
19	100	5	3133.75	3.0123	9.44
20	100	10	1555.09	3.3674	5.24

Anexo 71. Ficha del sondeo eléctrico vertical 21



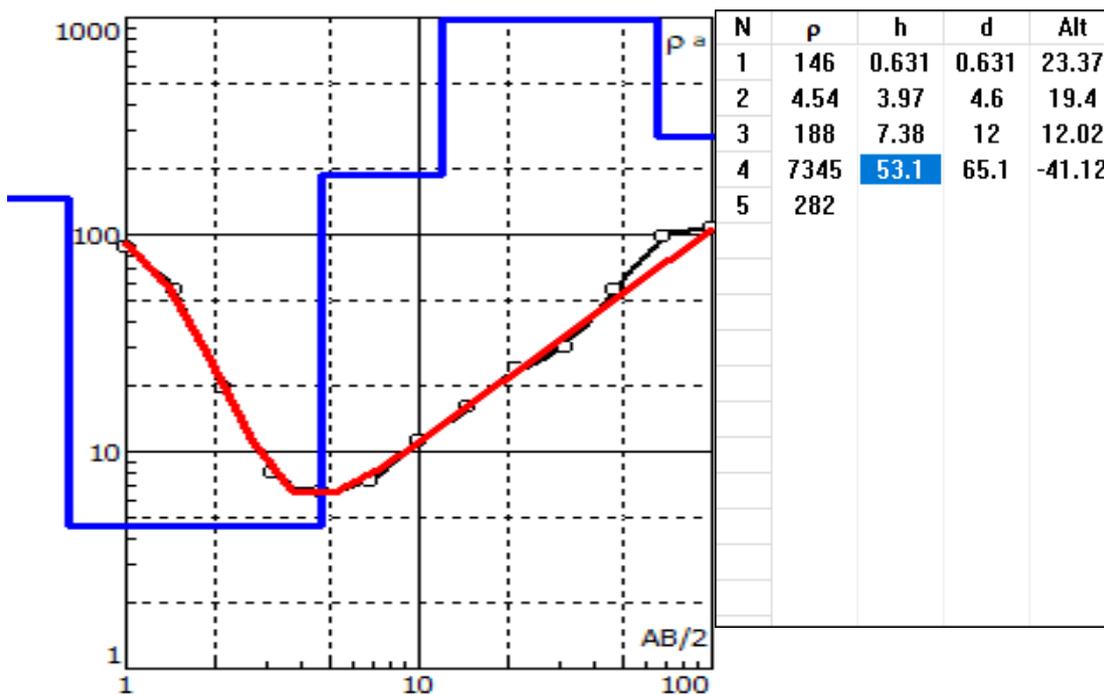
Anexo 72. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-21

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	85.3	0.5	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	4.1	3.1	3.6	Arcillas, limos y arenas	
3	1.4	7.2	10.8	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	134.0	8.4	19.2	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	F. Tablazo
5	26.6	32.9	52.1	Arcillas, limos y arenas	
6	4.6			Arcillas, limos y arenas	

Anexo 73. Resultados de la interpretación del SEV-21

CÓDIGO:		SEV-22		Propiedad Estevan Ponce Sondeo de corrección del sev21 En ramal de río intermitente Rumbo N287° Suelo con capas de arenisca	
FECHA:		19/7/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		529780			
COORDENADAS Y:		9781325			
COORDENADAS Z:		24			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	11.454	86.36
2	1.47	0.2	16.66	3.3026	55.02
3	2.15	0.2	35.99	542.28	19.52
4	3.16	0.2	78.11	87.504	6.83
5	4.64	0.2	168.78	18.471	3.12
6	4.64	0.5	66.85	42.616	2.85
7	6.81	0.2	363.92	6.8817	2.50
8	6.81	0.5	144.91	23.2	3.36
9	10	0.5	313.37	15.736	4.93
10	14.7	0.5	678.08	17.559	11.91
11	14.7	2	166.58	28.523	4.75
12	21.5	0.5	1451.42	22.004	31.94
13	21.5	2	359.91	30.87	11.11
14	31.6	2	781.13	14.755	11.53
15	46.4	2	1687.79	22.814	38.51
16	46.4	5	668.52	32.647	21.83
17	68.1	2	3639.24	24.253	88.26
18	68.1	5	1449.1	37.151	53.84
19	100	5	3133.75	17.551	55.00
20	100	10	1555.09	16.696	25.96

Anexo 74. Ficha del sondeo eléctrico vertical 22



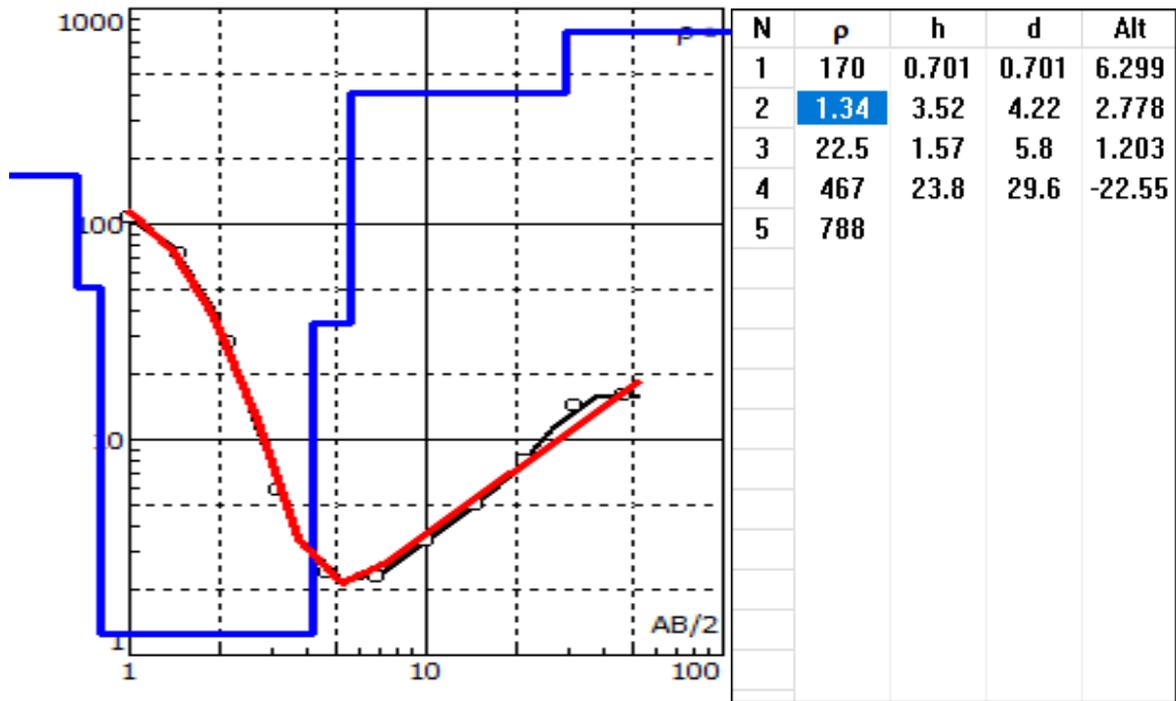
Anexo 75. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-22

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	146.0	0.6	0.6	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	4.5	4.0	4.6	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	188.0	7.4	12.0	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
4	7345.0	53.1	65.1	Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	F. Tablazo
5	282.0			Areniscas	

Anexo 76. Resultados de la interpretación del SEV-22

CÓDIGO:		SEV-23		Ramal Cauce de río intermitente Rumbo N230°	
FECHA:		19/7/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		529214			
COORDENADAS Y:		9781791			
COORDENADAS Z:		7			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	13.833	104.30
2	1.47	0.2	16.66	4.2881	71.44
3	2.15	0.2	35.99	767.12	27.61
4	3.16	0.2	78.11	72.894	5.69
5	4.64	0.2	168.78	7.5961	1.28
6	4.64	0.5	66.85	19.872	1.33
7	6.81	0.2	363.92	3.5324	1.29
8	6.81	0.5	144.91	8.2284	1.19
9	10	0.5	313.37	2.4095	0.76
10	14.7	0.5	678.08	1.7745	1.20
11	14.7	2	166.58	8.229	1.37
12	21.5	0.5	1451.42	8.4544	12.27
13	21.5	2	359.91	9.963	3.59
14	31.6	2	781.13	15.995	12.49
15	46.4	2	1687.79	1.8165	3.07
16	46.4	5	668.52	18.848	12.60

Anexo 77. Ficha del sondeo eléctrico vertical 23



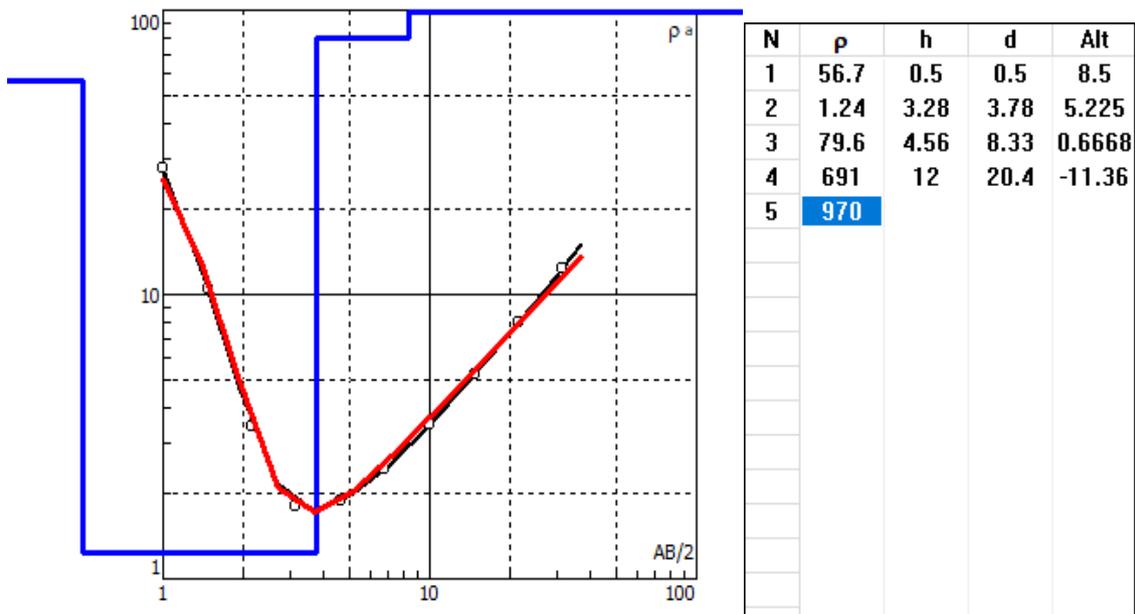
Anexo 78. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-23.

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	170.0	0.7	0.7	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	1.3	3.5	4.2	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	22.5	1.6	5.8	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
4	467.0	23.8	29.6	Areniscas	Miembro Zapotal
5	788.0			Areniscas	

Anexo 79. Resultados de la interpretación del SEV-23.

CÓDIGO:		SEV-24		Cerca del Sev24 Cerca de la carretera principal estatal Rumbo N164°	
FECHA:		19/7/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		529218			
COORDENADAS Y:		9781862			
COORDENADAS Z:		9			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	3.659	27.59
2	1.47	0.2	16.66	621.94	10.36
3	2.15	0.2	35.99	95.401	3.43
4	3.16	0.2	78.11	19.295	1.51
5	4.64	0.2	168.78	10.157	1.71
6	4.64	0.5	66.85	18.536	1.24
7	6.81	0.2	363.92	2.8995	1.06
8	6.81	0.5	144.91	11.961	1.73
9	10	0.5	313.37	3.3456	1.05
10	14.7	0.5	678.08	6.3306	4.29
11	14.7	2	166.58	7.2867	1.21
12	21.5	0.5	1451.42	6.7946	9.86
13	21.5	2	359.91	10.604	3.82
14	31.6	2	781.13	10.184	7.96

Anexo 80. Ficha del sondeo eléctrico vertical 24.



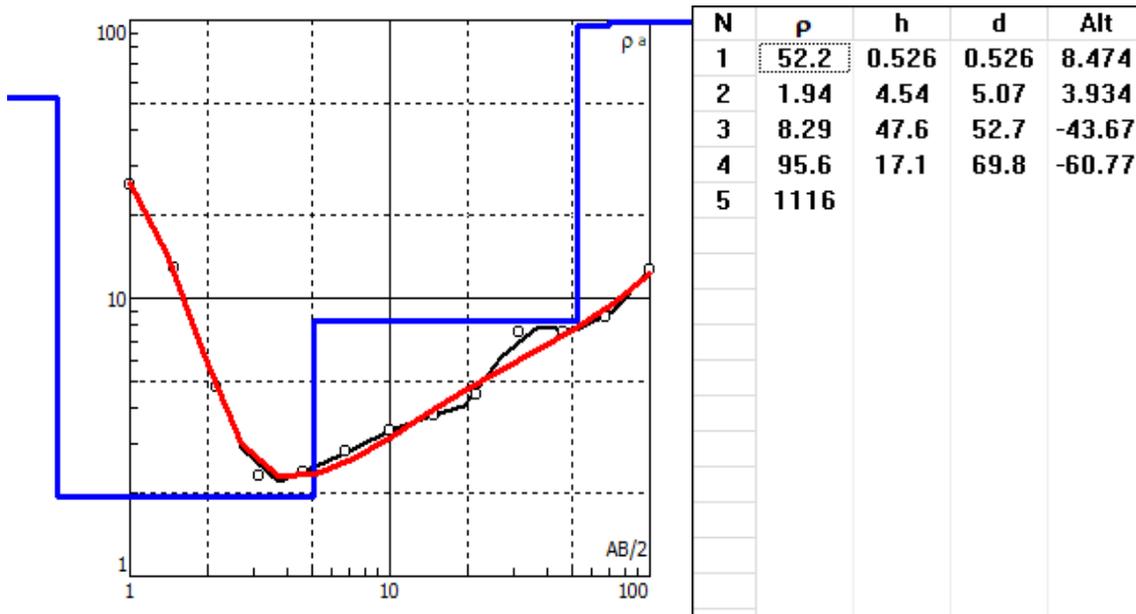
Anexo 81. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-24.

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	56.7	0.5	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	1.2	3.3	3.8	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	79.6	4.6	8.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	
4	691.0	12.0	20.3	Areniscas	Miembro Zapotal
5	970.0			Areniscas	

Anexo 82. Resultados de la interpretación del SEV-24

CÓDIGO:		SEV-25		Cerca del sev15 Cerca de la carretera estatal Rumbo N260°	
FECHA:		20/7/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		530332			
COORDENADAS Y:		9781717			
COORDENADAS Z:		33			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	3.937	29.68
2	1.47	0.2	16.66	897.95	14.96
3	2.15	0.2	35.99	155.33	5.59
4	3.16	0.2	78.11	34.358	2.68
5	4.64	0.2	168.78	16.176	2.73
6	4.64	0.5	66.85	41.132	2.75
7	6.81	0.2	363.92	9.0483	3.29
8	6.81	0.5	144.91	22.213	3.22
9	10	0.5	313.37	12.243	3.84
10	14.7	0.5	678.08	6.0912	4.13
11	14.7	2	166.58	24.037	4.00
12	21.5	0.5	1451.42	3.777	5.48
13	21.5	2	359.91	11.76	4.23
14	31.6	2	781.13	9.6048	7.50
15	46.4	2	1687.79	4.1058	6.93
16	46.4	5	668.52	7.754	5.18
17	68.1	2	3639.24	2.434	8.86
18	68.1	5	1449.1	3.5928	5.21
19	100	5	3133.75	4.2827	13.42
20	100	10	1555.09	4.7399	7.37

Anexo 83. Ficha del sondeo eléctrico vertical 25.



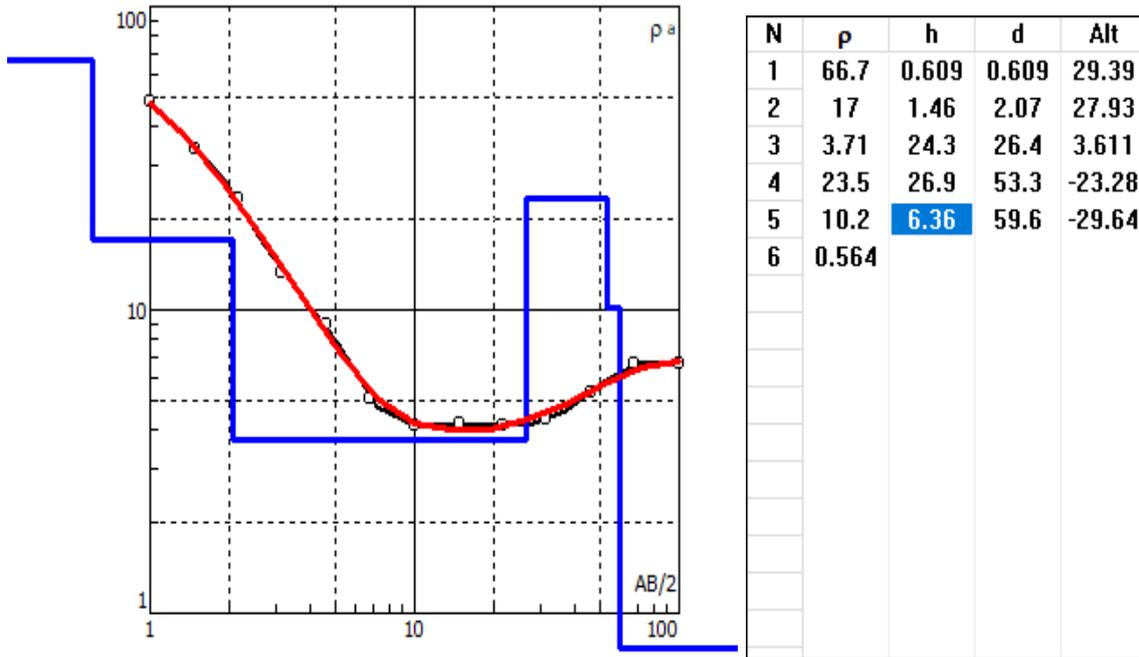
Anexo 84. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-25.

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	52.2	0.5	0.5	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	1.9	4.5	5.0	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
3	8.3	47.6	52.6	Arcillas, limos y arenas	
4	95.6	17.1	69.7	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	F. Tablazo
5	1116.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	

Anexo 85. Resultados de la interpretación del SEV-25.

CÓDIGO:		SEV-26		Cerca del sev15 Cerca de la carretera principal Rumbo N40°	
FECHA:		20/7/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		530730			
COORDENADAS Y:		9780467			
COORDENADAS Z:		30			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	6.869	51.79
2	1.47	0.2	16.66	2.1871	36.44
3	2.15	0.2	35.99	688.83	24.79
4	3.16	0.2	78.11	179.6	14.03
5	4.64	0.2	168.78	56.328	9.51
6	4.64	0.5	66.85	135.79	9.08
7	6.81	0.2	363.92	14.988	5.45
8	6.81	0.5	144.91	34.676	5.02
9	10	0.5	313.37	13.336	4.18
10	14.7	0.5	678.08	6.2279	4.22
11	14.7	2	166.58	23.16	3.86
12	21.5	0.5	1451.42	2.8565	4.15
13	21.5	2	359.91	10.561	3.80
14	31.6	2	781.13	5.0673	3.96
15	46.4	2	1687.79	2.8035	4.73
16	46.4	5	668.52	6.0136	4.02
17	68.1	2	3639.24	1.6349	5.95
18	68.1	5	1449.1	3.3818	4.90
19	100	5	3133.75	2.0587	6.45
20	100	10	1555.09	2.863	4.45

Anexo 86. Ficha del sondeo eléctrico vertical 26.



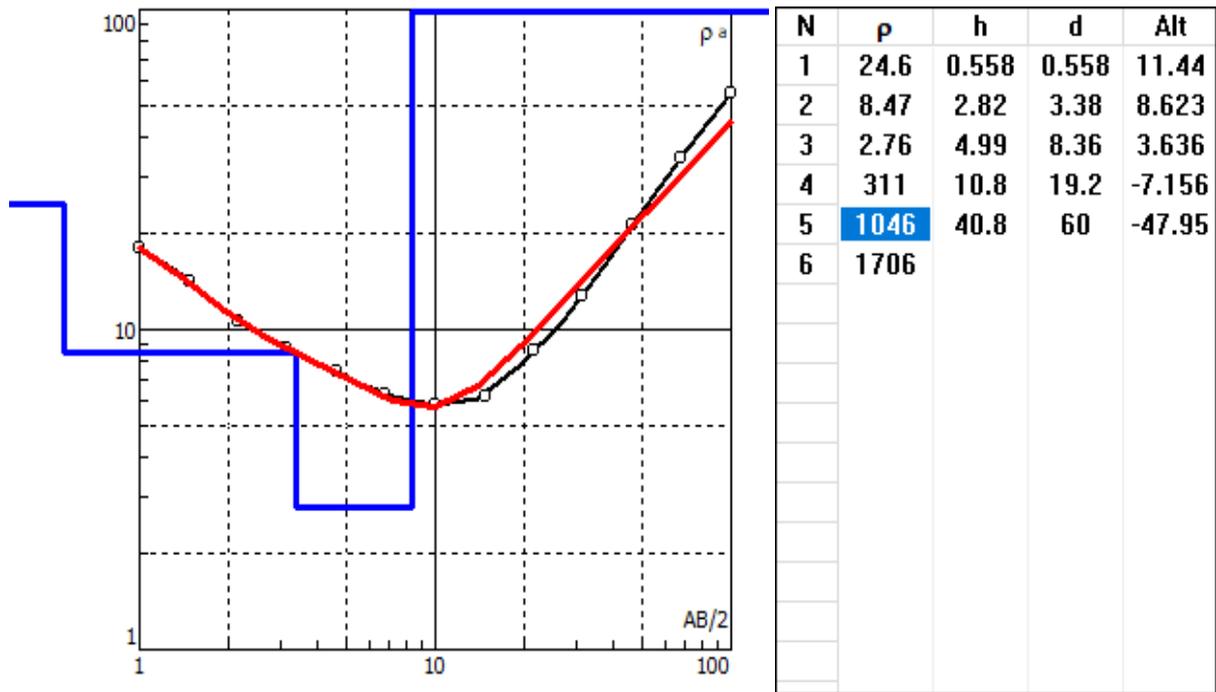
Anexo 87. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-26.

N° capa	Resistivida d	Espesor	Profundida d	Interpretación	Formació n
1	66.7	0.6	0.6	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Depósitos coluvio aluviales
2	17.0	1.5	2.1	Arcillas, limos y arenas	
3	3.7	24.3	26.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	23.5	26.9	53.3	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	F. Tablazo
5	10.2	6.4	59.6	Arcillas, limos y arenas	
6	0.6			Arcillas, limos y arenas con mineralización	

Anexo 88. Resultados de la interpretación del SEV-26.

CÓDIGO:		SEV-27		NOTA: Debajo de la colina donde fue tomado el sev14 Rumbo N50°	
FECHA:		20/7/2022			
OPERADOR:		Ing. Emily Sánchez			
COORDENADAS X:		528613			
COORDENADAS Y:		9781557			
COORDENADAS Z:		12			
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistencia (m ohm)	Resistividad (ohm m)
1	1	0.2	7.54	937.000	7.06
2	1.47	0.2	16.66	316.04	5.27
3	2.15	0.2	35.99	113.56	4.09
4	3.16	0.2	78.11	47.634	3.72
5	4.64	0.2	168.78	17.275	2.92
6	4.64	0.5	66.85	114.61	7.66
7	6.81	0.2	363.92	6.6149	2.41
8	6.81	0.5	144.91	35.284	5.11
9	10	0.5	313.37	10.973	3.44
10	14.7	0.5	678.08	2.7339	1.85
11	14.7	2	166.58	11.947	1.99
12	21.5	0.5	1451.42	3.7774	5.48
13	21.5	2	359.91	6.7642	2.43
14	31.6	2	781.13	14.353	11.21
15	46.4	2	1687.79	13.363	22.55
16	46.4	5	668.52	16.04	10.72
17	68.1	2	3639.24	16.494	60.03
18	68.1	5	1449.1	16.625	24.09
19	100	5	3133.75	13.172	41.28
20	100	10	1555.09	14.857	23.10

Anexo 89. Ficha del sondeo eléctrico vertical 27



Anexo 90. Curva de resistividad y resistividades aparentes del SEV-27

N° capa	Resistividad	Espesor	Profundidad	Interpretación	Formación
1	24.6	0.6	0.6	Arcillas, arenas, gravas y conglomerados	Miembro Zapotal
2	8.5	2.8	3.4	Arcillas, limos y arenas	
3	2.8	5.0	8.4	Arcillas, limos y arenas con mineralización	
4	311.0	10.8	19.2	Areniscas	
5	1046.0	40.8	60.0	Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	F. Tablazo
6	1706.0			Conglomerados, brechas y areniscas calcáreas	

Anexo 91. Resultados de la interpretación del SEV-27.