

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Exploración de Geofísica Aplicada a la Hidrogeología en los  
Recintos San Juan y San Pablo de la Parroquia Cascol – Manabí

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

#### **Ingeniero en Geología**

Presentado por:

Jonathan Elías Chica Ramirez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo en primer lugar a mis padres, Rosa Edilma Ramírez González y Luis Eduardo Chica Jaramillo, las personas que siempre han estado ahí, siendo los motores que impulsan mis sueños y esperanzas. Siempre han sido los mejores guías de mi vida. Les dedico a este logro, como una meta más conquistada. Gracias por estar a mi lado en este momento tan importante de mi vida.

**Jonathan Chica**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los profesores que han formado parte de mi camino estudiantil. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera muy profesional, por su dedicación perseverancia y tolerancia. Los llevaré conmigo en mí vida profesional y personal.

Un agradecimiento especial a mis tutores, Ing. David Altamirano M.Sc y al Ing. Paúl Carrión Ph.D., director de CIPAT. Con sus virtudes, este trabajo ha logrado cumplir con sus objetivos, siendo un gran desafío para mí. Sus consejos fueron siempre útiles cuando mis pensamientos e ideas no eran tan claras para escribir lo que hoy he logrado.

A los investigadores y colaboradores de CIPAT por su apoyo en todo momento. En especial a la Ing. Joselyne Solórzano M.Sc., quien dispuso de su tiempo para desarrollar este proyecto.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*Jonathan Elías Chica Ramírez*) y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

Jonathan Elías Chica Ramírez

# EVALUADORES

---

**Ing. David Altamirano M.Sc.**

PROFESOR TUTOR

---

**Ing. Paúl Carrión Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

---

**Ing. Mishelle Muthre M.Sc.**

PROFESORA DE LA MATERIA

# RESUMEN

En los recintos San Juan y San Pablo de la parroquia Cascol en Manabí, existen pozos para obtener aguas subterráneas. En donde muchos de estos pozos se han realizado sin algún tipo de investigación previa, por lo que no resultaron productivos. Los recintos San Juan y San Pablo tienen dos pozos respectivamente, actualmente están activos, pero no son suficientes para abastecer a las necesidades básicas de la comunidad. Además, la falta de agua en época de sequía ha provocado numerosos problemas a los sectores productivos de los recintos, como la ganadería y la agricultura. Estos problemas se ven agravados por la falta de gestión adecuada de los recursos hídricos en estos sectores. Basado en lo anterior, este trabajo tiene como objetivo principal evaluar el potencial hídrico, mediante un análisis hidrológico superficial – subterráneo, revisión del relieve geográfico, campañas de geoelectricas aplicadas y la integración en sistemas de información geográfica para la zonificación de áreas de interés hídrico en los recintos San Juan y San Pablo de la parroquia Cascol – Manabí. Como metodología se realizó: i) Buscar información bibliográfica como datos meteorológicos para la obtención de un balance hídrico, ii) Prospección geofísica y trabajo campo, iii) Proceso de datos obtenidos en campo, iv) Reclasificar y correlacionar datos procesados obtenidos en campo, v) Resultados y análisis de resultados. El estudio se lo realizó mediante análisis y correlación de los criterios múltiples como: datos litológicos, densidades de drenaje, porcentajes de pendiente, geofísica y parámetros físicos-químicos del agua, que dio como resultado la determinación del potencial de almacenamiento de aguas subterráneas en los recintos San Juan y San Pablo.

**Palabras claves:** Hidrogeología; Geoelectrica; Aguas subterráneas; Balance hídrico

# ABSTRACT

In the San Juan and San Pablo community of the Cascol parish in Manabí, there are wells to obtain groundwater. However, many of these wells were drilled without any prior investigation and were therefore not productive. The San Juan and San Pablo campuses have two wells respectively, which are currently active, but do not supply the basic needs of the communities. In addition, the lack of water in times of drought has caused numerous problems for the productive sectors of the enclosures, such as livestock and agriculture. These problems are compounded by the lack of proper management of water resources in these sectors. Based on the above, the objective of this work is to evaluate the water potential, through a surface-underground hydrological analysis, revision of the geographical relief, applied geoelectric campaigns and the integration in geographic information systems for the zoning of areas of water interest in the San Juan and San Pablo precincts of the Cascol - Manabí parish. The following methodology was carried out: i) Search for bibliographic information such as meteorological data to obtain a water balance, ii) Geophysical prospecting and field work, iii) Process data obtained in the field, iv) Reclassify and correlate processed data obtained in the field, v) Results and analysis of results. The study was carried out through analysis and correlation of multiple criteria such as: lithological data, drainage densities, slope percentages, geophysics and physical-chemical parameters of the water, which resulted in the determination of the groundwater storage potential in the San Juan and San Pablo community.

**Keywords:** Hydrogeology; geoelectric; groundwater; Hydric balance

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
EVALUADORES .....	I
RESUMEN .....	II
ABSTRACT .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIV
ABREVIATURAS.....	XVII
SIMBOLOGÍA.....	XVIII
CAPÍTULO 1 .....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación del problema.....	4
1.2 Objetivo General .....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos .....	5
1.3 Definiciones .....	6
1.3.1 Ciclo hidrológico .....	6
1.3.2 Acuífero .....	7



1.3.3	Tipo de acuíferos .....	7
1.3.4	Permeabilidad.....	8
1.3.5	Red de drenaje .....	8
1.3.6	Densidad de drenaje.....	8
1.3.7	Hidrogeología .....	9
1.3.8	Parámetros Físicos-Químicos.....	9
1.3.9	Métodos geofísicos .....	9
1.3.10	Sondeos Eléctricos Verticales .....	10
1.3.11	Sondeos electromagnéticos .....	10
1.3.12	Análisis de jerarquización de Saaty.....	10
CAPÍTULO 2 .....		12
2	Marco Teórico.....	12
2.1	Marco geográfico .....	12
2.2	Clima, precipitación, temperatura.....	13
2.3	Geomorfología – Relieve.....	13
2.4	Cobertura Vegetal .....	13
2.5	Marco Geológico – Geología Regional.....	14
2.5.1	Formación Piñón.....	15
2.5.2	Formación Cayo .....	15
2.5.3	Formación Onzole .....	15
2.5.4	Formación Angostura .....	16

2.5.5	Formación Borbón .....	16
2.6	Marco Geológico – Geología Local .....	16
2.7	Hidrología.....	17
CAPÍTULO 3 .....		18
3	Metodología .....	18
3.1	Materiales.....	18
3.1.1	Instrumentos de campo .....	18
3.1.2	Equipos Geoeléctricos.....	19
3.2	Metodología general.....	19
3.3	Procedimiento .....	19
3.3.1	Fase I: Base conceptual .....	21
3.3.2	Fase II: Trabajo de campo.....	23
3.3.3	Toma de datos de parámetros físicos-químicos de pozos.....	24
3.4	Fase III: Procesamiento de datos.....	24
3.4.1	Datos topográficos.....	24
3.4.2	Datos hídricos.....	25
3.4.3	Datos geofísicos .....	25
3.5	Fase IV: Reclasificación y correlación de datos .....	25
3.5.1	Ponderación de criterios .....	27
CAPÍTULO 4 .....		29
4	Resultados y análisis de resultados.....	29

4.1	Análisis multitemporal .....	29
4.2	Balance hídrico .....	31
4.3	Levantamiento geológico .....	32
4.4	Prospección geofísica .....	35
4.4.1	Interpretación geofísica SEV-01 .....	36
4.4.2	Interpretación geofísica SEV-02 .....	38
4.4.3	Correlacion SEV-01 & SEV-02 .....	40
4.4.4	Interpretación electromagnética EM-02 .....	41
4.4.5	Interpretación electromagnética EM-05 .....	44
4.4.6	Correlación EM-02 y EM-05 .....	46
4.4.7	Interpretación electromagnética EM-01 .....	46
4.4.8	Interpretación electromagnética EM-09 .....	49
4.4.9	Correlación EM-01 Y EM-09 .....	51
4.5	Parámetros físicos-químicos de pozos.....	51
4.5.1	Medición de parámetros físico-químicos .....	53
4.6	Algebra de mapas .....	54
4.6.1	Mapa litológico.....	54
4.6.2	Mapa de pendientes .....	55
4.6.3	Mapa de sondeos eléctricos verticales y electromagnéticos .....	56
4.6.4	Mapa de densidad de drenaje .....	57
4.6.5	Mapas de parámetros físico – químico de pozos .....	58

4.6.6	Mapa de zonificación con Potencial de Aguas Subterráneas .....	59
CAPÍTULO 5 .....		62
5	Conclusiones y Recomendaciones .....	62
5.1	Conclusiones.....	62
5.2	Recomendaciones.....	63
Referencias .....		67
Anexos .....		72

# ÍNDICE DE FIGURAS

## Capítulo 1

Figura 1. 1 Esquema secuencial de la justificación del problema .....	5
Figura 1. 2 Ciclo hidrológico .....	7
Figura 1. 3 Valores de resistividad eléctrica de diferentes rocas y minerales. .	10

## Capítulo 2

Figura 2.1 Mapa de zona de estudio .....	12
Figura 2.2 Mapa geológico .....	17

## Capítulo 3

Figura 3. 1 Esquema de la metodología general.....	20
Figura 3. 2 Medición de parámetros físico-químico para determinar la calidad de agua y registro de pozos. ....	24

## Capítulo 4

Figura 4. 1 Análisis multitemporal 1993-2013 .....	29
Figura 4.2 Análisis multitemporal mensual 1993-2013.....	30
Figura 4. 3 Análisis de períodos húmedos y secos .....	30
Figura 4. 4 Gráfica del balance hídrico.....	32
Figura 4. 5 Columna litológica de la zona de estudio. ....	34

Figura 4. 6 Mapa de ubicación de los sondeos realizados.....	35
Figura 4. 7 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica SEV-01. ....	38
Figura 4. 8 Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica SEV-02. ....	40
Figura 4. 9 Correlación de columnas geoelectricas SEV-01 & SEV-02.....	41
Figura 4.10 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-02. ....	43
Figura 4.11 Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-05. ....	45
Figura 4. 12 Correlación EM-02 & EM-05 .....	46
Figura 4. 13 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-01. ....	48
Figura 4. 14 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-09. ....	50
Figura 4. 15 Correlación de columnas geoelectricas EM-01 y EM-09.....	51
Figura 4. 16 Mapa de ubicación de pozos.....	52
Figura 4. 17 Mapa litológico reclasificado .....	55
Figura 4. 18 Mapa de porcentaje de pendientes reclasificado .....	56
Figura 4. 19 Mapa de SEV's y EM's reclasificados .....	57
Figura 4. 20 Mapa de densidad de drenaje reclasificado .....	58
Figura 4. 21 Mapas de parámetros físico–químico de pozos con valoración ...	59
Figura 4. 22 Mapa de Zonificación de Áreas con Potencial de Aguas Subterráneas.....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.3.....	8
Ecuación 3.1.....	22
Ecuación 3.2.....	23
Ecuación 3.3.....	24
Ecuación 3.4 .....	29

# ÍNDICE DE TABLAS

## Capítulo 1

Tabla 1. 1 Tipos de acuíferos.....	7
Tabla 1. 2 Valores interpretativos de la densidad drenaje.....	9
Tabla 1. 3 Escala de ponderación de Saaty.....	11

## Capítulo 3

Tabla 3.1 Tabla de la información obtenida .....	21
Tabla 3. 2 Ponderación litológica .....	26
Tabla 3.3 Ponderación de porcentaje de pendientes .....	26
Tabla 3. 4 Ponderación de la densidad de drenaje .....	26
Tabla 3. 5 Ponderación del rango de resistividad de la geofísica.....	27
Tabla 3. 6 Ponderación de rango de TDS en los pozos .....	27
Tabla 3. 7 Ponderación de la jerarquización de Saaty .....	27
Tabla 3. 8 Ponderación de criterios de la "Jerarquización Analítica de Saaty".	28

## Capítulo 4

Tabla 4. 1 Balance hídrico del periodo 1993 – 2013 .....	31
Tabla 4. 2 Resumen de la descripción litológica .....	33
Tabla 4. 3 Rangos aproximados de resistividad acorde a la litología.....	36
Tabla 4. 4 Tabla de ubicación de sondeos realizados.....	36



Tabla 4. 5 Interpretación de la columna geoelectrica del SEV-01.....	37
Tabla 4. 6 Interpretación de la columna geoelectrica del SEV-02.....	39
Tabla 4. 7 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-02.....	42
Tabla 4. 8 Tabla de interpretación de geoelectrica del EM-05 .....	44
Tabla 4. 9 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-01 .....	47
Tabla 4. 10 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-09.....	49
Tabla 4. 11 Inventario de pozos .....	52
Tabla 4. 12 Medición de parámetros físico-químicos .....	53

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 2 Datos de temperatura de la estación Olmedo recopilados de los anuarios meteorológicos del INAMHI .....	1
Anexo 2 Datos de temperatura de la estación Olmedo recopilados de los anuarios meteorológicos del INAMHI .....	1
Anexo 3 Datos de temperaturas de la estación Olmedo recopilados de los anuarios meteorológicos del INAMHI .....	2
Anexo 4 Datos de precipitaciones mensuales 1993 - 2013.....	2
Anexo 5 Ficha de campo.....	3
Anexo 6 Ficha de campo de la estación geológica N°1.....	4
Anexo 7 Ficha de campo de la estación geológica N.º2 .....	5
Anexo 8 Ficha de campo de la estación geológica N.º3 .....	6
Anexo 9 Ficha de campo de la estación geológica N.º4 .....	7
Anexo 10 Ficha de campo de la estación geológica N.º5 .....	8
Anexo 11 Ficha de campo de la estación geológica N.º6 .....	9
Anexo 12 Ficha de campo de la estación geológica N.º7 .....	10
Anexo 13 Ficha de campo de la estación geológica N.º8 .....	11
Anexo 14 Ficha de campo de la estación geológica N.9.....	12
Anexo 15 Ficha de campo de la estación geológica N.º10 .....	13
Anexo 17 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-03.....	14
Anexo 16. A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-03. ....	15

Anexo 19 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-04.....	16
Anexo 18 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-04. ....	17
Anexo 21 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-06.....	18
Anexo 20 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-06. ....	19
Anexo 23 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-07.....	20
Anexo 22 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-07. ....	21
Anexo 25 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-08.....	22
Anexo 24 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-08. ....	23
Anexo 26. Perfil geoelectrico A-A' .....	24
Anexo 28 Perfil geoelectrico C-C' .....	26
Anexo 29 Perfil geoelectrico D-D' .....	27
Anexo 30 Mapa litológico de la zona de estudio .....	28
Anexo 31 Toma de datos en campo de SEV's .....	29
Anexo 32 Manejo de equipo EM .....	30
Anexo 33 Descripción de litología con presencia de fósiles calcáreos.....	31
Anexo 34 Equipo y personal de campo del proyecto .....	32
Anexo 28 Perfil geoelectrico C-C' .....	26
Anexo 29 Perfil geoelectrico D-D' .....	27
Anexo 30 Mapa litológico de la zona de estudio .....	28

Anexo 31 Toma de datos en campo de SEV's .....	29
Anexo 32 Manejo de equipo EM .....	30
Anexo 33 Descripción de litología con presencia de fósiles calcáreos.....	31
Anexo 34 Equipo y personal de campo del proyecto .....	32

# ABREVIATURAS

<b>CIPAT</b>	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
<b>ESPOL</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadística y Censos
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<b>SEV</b>	Sondeos Eléctricos Verticales
<b>EM's</b>	Sondeos Electromagnéticos
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>TDS</b>	Sólidos Disueltos Totales

# SIMBOLOGÍA

<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>L</b>	Litro
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>mg</b>	Miligramos
<b>N</b>	Norte
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>uS</b>	Microsiemens
<b>Ωm</b>	Ohmios*metro
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b>ρ</b>	Resistividad Aparente

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso abundante en la tierra, pero la mayor parte del agua no es apta para el consumo humano (Herrera-Franco et al., 2021). El agua subterránea es un recurso natural escondido en la corteza terrestre, un ecosistema no visible para el desarrollo de la vida en la superficie (Herrera-Franco et al., 2022).

El agua juega un papel importante en el desarrollo económico, social y humano de un país o comunidad (Carrión-Mero et al., 2020; Carrión-Mero et al., 2021; Herrera-Franco et al., 2021; Mullo-Sinaluisa et al., 2022). A nivel mundial, 2500 millones de personas dependen del suministro de agua subterránea para satisfacer sus necesidades básicas. Según evaluaciones independientes, el mundo enfrentará un 40% de escasez mundial de agua para 2030 (Nieto, 2011). El agua es la fuente más afectada por el crecimiento poblacional (Merchán-Sanmartín et al., 2022), por lo que las necesidades de tratamiento de los afluentes se han convertido en una preocupación (Merchán-Sanmartín et al., 2022).

Actualmente una gran proporción de la población mundial está experimentando estrés hídrico (Carrión-Mero et al., 2021). La crisis de escasez de agua a gran escala parece no ser más que un problema de los gobiernos y su inadecuada asignación de recursos (Duran Juárez & Torres Rodríguez, 2006). El agua y el saneamiento son derechos básicos y esenciales para el adecuado desarrollo de una población (Merchán-Sanmartín et al., 2021). La mala gestión, la falta de instituciones de gobierno, calidad de agua y redes de abastecimiento (Merchán-Sanmartín et al., 2022), han originado que 1.100 millones de personas en el mundo carezcan de un acceso adecuado al agua potable y 2.600 millones no cuenten con servicios básicos de saneamiento, conforme a lo señalado en el segundo informe de las Naciones Unidas sobre la situación de los recursos hídricos en el mundo, denominado “Agua, una responsabilidad compartida” (Merchán-Sanmartín et al., 2022).

Por las razones anteriores, este recurso necesita ser visualizado de manera interdisciplinaria y en un marco de sustentabilidad. Según la Comisión Brundtland (1987), que define el concepto de desarrollo Haga clic o pulse aquí para escribir texto indicando lo siguiente:

*“El desarrollo del recurso hídrico de agua dulce es sostenible si existe un desarrollo capaz de satisfacer las necesidades en cantidad y calidad de agua dulce a nuestras generaciones humanas y a los ecosistemas del planeta sin impedir que las futuras generaciones satisfagan sus propias necesidades”.*

En algunas zonas del Ecuador, el agua subterránea es uno de los recursos disponibles para abastecer a la población o regar cultivos, constituyendo un recurso importante para la seguridad alimentaria (Carrión-Mero et al., 2022). Sin embargo, los esfuerzos en términos de conocimiento científico, patrones de uso y desarrollo de herramientas apropiadas para la gestión sostenible no se han desarrollado de la misma manera que para las aguas superficiales, donde los modelos de gestión en muchos casos han sido mal aplicados a la gestión de aguas subterráneas (Carrión-Mero et al., 2021; Dourojeanni et al 2001).

Ecuador presenta una gran biodiversidad (Herrera-Franco et al., 2022) y además una gran riqueza hídrica (Merchán-Sanmartín et al., 2022), pero también existen excepciones en donde el agua potable es muy limitado. En los recintos San Juan y San Pablo ubicados en la parroquia Cascol – Manabí, existe poca información geológica e hidrogeológica que dificulta la exploración de reservas de agua subterránea y la construcción de sistemas para la extracción y explotación de agua a través de pozos para el aprovechamiento de las comunidades.

El presente trabajo tiene la finalidad de evaluar la información hidrogeológica de los recintos San Juan y San Pablo, mediante levantamientos litológicos, prospección de geofísica aplicada, mediciones de parámetros físicos-químicos del agua y un inventario de pozos existentes en la zona, para la zonificación del potencial de aguas subterráneas. La propuesta planteada busca tener un mejor conocimiento y aprovechamiento de este recurso para los sectores que se encuentran en la zona de estudio, además contribuye a obtener nuevas bases para proyectos futuros y la toma de decisiones en beneficio de la sociedad.



## **Descripción del problema**

La necesidad de agua se manifiesta en varias zonas y va en constante aumento para satisfacer las necesidades humanas, este recurso es escaso, los caudales de los estuarios se reducen y faltan plantas potabilizadoras para el consumo. (Carrión-Mero et al., 2021; Cueva Mogrovejo, 2018).

De acuerdo a los indicadores sociales establecidos por el INEC para determinar el foco de intervención en el cantón Paján, estos indicadores arrojan una población de 36,957 en el área rural y 5,489 en el área urbana. Los indicadores muestran que, entre otras cosas, solo el 2,1% de las viviendas en las zonas rurales tienen agua potable, frente al 61,4% en las zonas urbanas. Claramente existe un fuerte contraste entre las áreas rurales y urbanas. A nivel parroquial, Cascol también se ve afectado por la falta de abastecimiento de agua potable, ya que, de los 1.936 habitantes de la zona, el 14,20% cuenta con conexión de agua potable entubada en su domicilio y el 16,42% obtiene agua potable por tubería en el exterior de sus viviendas, y el 69,36% % de la población no tiene agua potable. (Alvarez, 2004).

Por otro lado, la población económicamente activa del cantón se dedica fundamentalmente de las tareas agrícolas y ganaderas, seguidas de actividades en el sector terciario, empleados públicos y actividades de manufactura (Sorroza Constante, 2012).

Sus habitantes para suplir todas las necesidades de este cantón han realizado perforaciones de pozos con ayuda municipal y entidades privadas en los cuales ha surgido agua con salinidad alta, la cual no ha contribuido a la solución, ni abastecimiento de las comunidades. Estos sucesos se dan por falta de una investigación y un análisis geológico e hidrogeológico previo, sumado a la poca información y análisis referente a la caracterización de las capas del suelo para la búsqueda de nuevos recursos hídricos.

## 1.1 Justificación del problema

Ecuador es un país con abundantes recursos hídricos, y el volumen de agua superficial per cápita es cuatro veces el promedio mundial. Como uno de los mayores expertos en el tema, Antonio Gaybor cita: *“El problema es que está mal distribuida, que la contaminación crece y que las fuentes de agua se destruyen de manera acelerada”*.

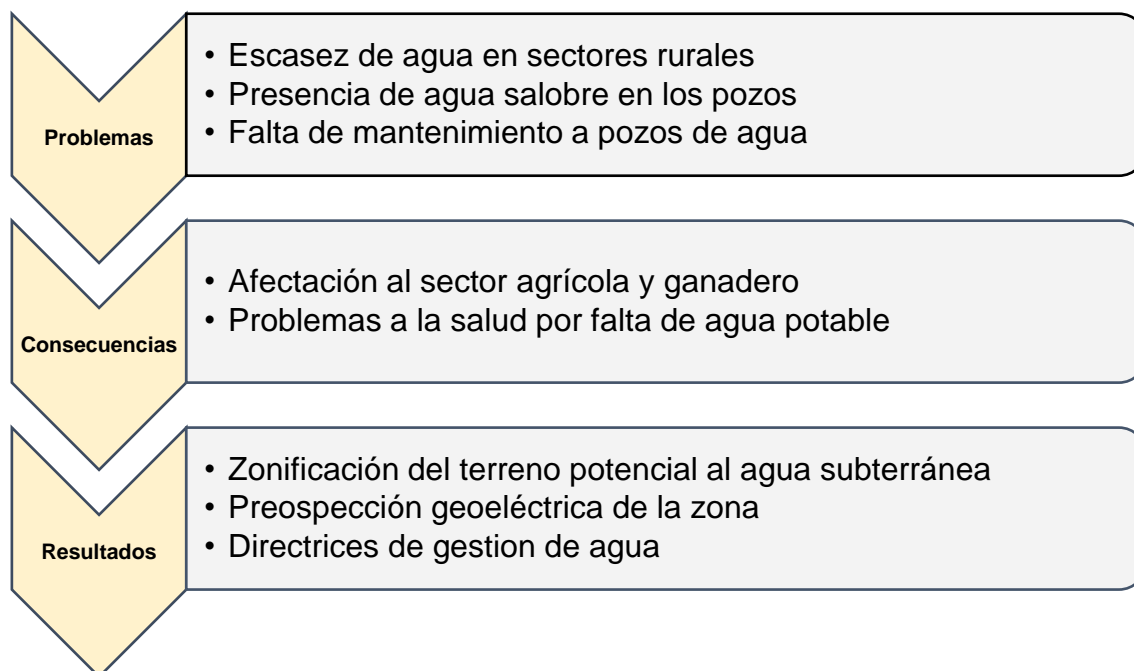
En algunas regiones del Ecuador, el agua subterránea es un recurso disponible para satisfacer las necesidades de los pueblos o para desarrollar actividades agrícolas, ganaderas e industriales (SENPLADES, 2018).

En el mundo y particularmente en las regiones áridas y semiáridas cercanas a la costa, unas de las principales fuentes de abastecimiento urbano y rural son las aguas subterráneas, agrícola e industrial considerando el 13% de la población mundial se asienta en estas zonas (Carrión-Mero et al., 2021). En los recintos San Juan y San Pablo existe una escasez de agua potable y superficial, la cual los obliga a los residentes del sector a buscar nuevas fuentes para su consumo y abastecimiento. El agua dulce es un elemento esencial que sustenta casi todos los ODS, que requieren el acceso a recursos adecuados, seguros para el consumo y el saneamiento, como el riego, la producción de energía y otras actividades industriales (Carrión-Mero, et al., 2021).

Tomando en cuenta la problemática planteada, este proyecto se enfoca en los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): El ODS 6 (Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos) permite la sostenibilidad y el uso responsable de este recurso para el desarrollo de las comunidades (Carrión-Mero et al., 2021). El ODS 8 (Crecimiento económico inclusivo y sostenido para impulsar la economía y tener una mejor calidad de vida) se relaciona con los lineamientos del proyecto, ya que el recurso del agua subterránea ayuda a impulsar económicamente a la agricultura y a la ganadería en beneficio de las comunidades y a su calidad de vida.

El agua es un recurso necesario y vital de libre acceso en todos los países del mundo (Merchán-Sanmartín et al., 2022). En base a esto, se busca desarrollar estrategias en los recintos involucrados para gestionar de manera adecuada

los recursos hídricos en sus actividades económicas y domésticas, en busca del desarrollo y un buen vivir.



**Figura 1. 1 Esquema secuencial de la justificación del problema**

## **1.2 Objetivo General**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar el potencial hídrico de los recintos San Juan y San Pablo de la parroquia Cascol – Manabí, mediante un análisis hidrológico superficial – subterráneo, revisión del relieve geográfico, campañas de geoelectrica aplicada y la integración en sistemas de información geográfica, para la zonificación de áreas de interés.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

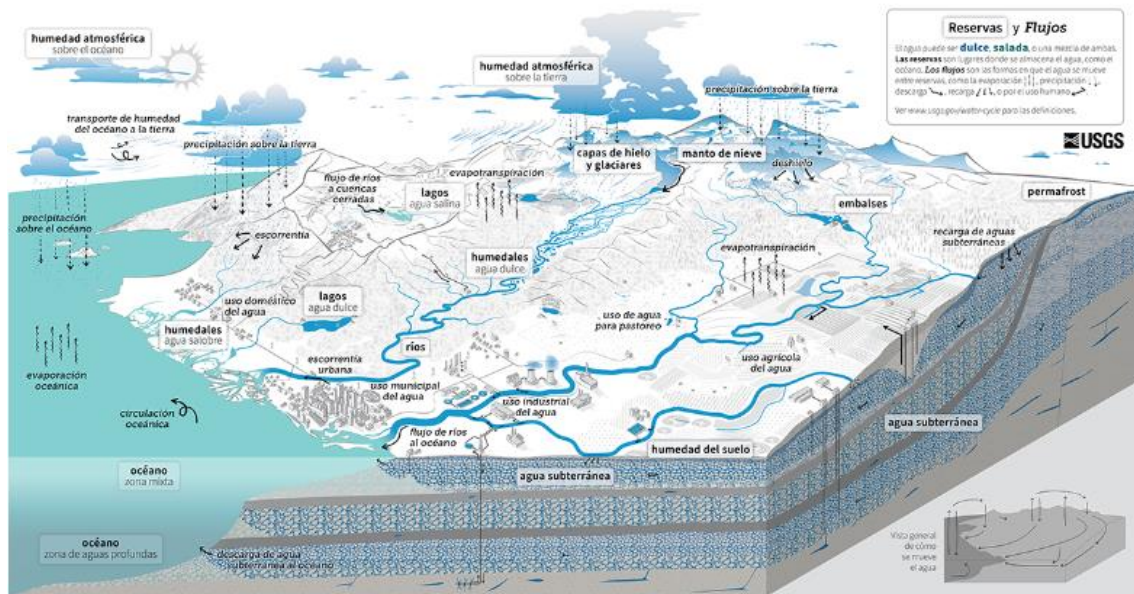
- Realizar campañas de reconocimiento de campo y geoelectrica aplicada a través de cortes geológicos, sondeos eléctricos verticales, y sondeos electromagnéticos, para la detección de propiedades naturales del terreno ideales en la obtención de aguas subterráneas.

- Elaborar una zonificación del suelo con potencial al agua subterránea aplicando la interpretación - correlación del relieve geológico - geofísico y análisis del sistema de información geográfica a través de la metodología Saaty para el reconocimiento de áreas favorables en la búsqueda de recursos hídricos.
- Revisar la información geológica – hidrológica del sector, mediante una base de datos sistemas de información geográficas para un análisis referencial que permita el diseño del estudio hidrológico.
- Configurar lineamientos de gestión del agua a través del análisis de la información recolectada para que los tomadores de decisiones elaboren un plan de acción.

### **1.3 Definiciones**

#### **1.3.1 Ciclo hidrológico**

Una característica fundamental de cualquier volumen de agua superficial ubicado en ríos, lagos, estanques, represas artificiales y aguas subterráneas es su inestabilidad y movilidad. Todos los componentes sólidos, líquidos y gaseosos, forman parte del ciclo dinámico del agua. Para el ser humano, la etapa más importante de este ciclo es precisamente la fase líquida, que está inmediatamente disponible (Tundisi, 2003).



**Figura 1. 2 Ciclo hidrológico**  
(Fuente: Obtenido de Corson-Dosch, 2022)

### 1.3.2 Acuífero

El acuífero es el medio rocoso en el que se mueven las aguas subterráneas. La capacidad de un acuífero es almacenar y conducir el agua subterránea, además de ser un modo de intercambio geoquímico (Werner, 1996). En general, se sitúan en zonas saturadas, es decir, en capas muy permeables y porosas (Alarcón Cervantes, 2016).

### 1.3.3 Tipo de acuíferos

Los acuíferos se clasifican en cuatro tipos principales según sus materiales constituyentes y estructura, se identifican como: acuíferos confinados, acuíferos semiconfinados y acuíferos libres (Tabla 1.1).

**Tabla 1. 1 Tipos de acuíferos.**

<b>Libre</b>	Cerca de la superficie tienen una capa saturada llamada nivel freático, a una presión igual a la presión atmosférica.
<b>Semiconfinado</b>	Tienen una presión superior a la presión atmosférica y tienen una capa permeable debajo que filtra el agua.
<b>Confinado</b>	Se caracterizan por una presión del agua mayor a la presión de la atmósfera.

#### 1.3.4 Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad de la roca que permite el paso de fluidos. También depende del tamaño de los poros y fracturas interconectados en las rocas (Nfundiko & others, 2013).

#### 1.3.5 Red de drenaje

Una red hidrológica es un grupo de ríos u otras vías fluviales (lagos, esteros, etc.), en un área delimitada. Algunos grupos de ríos pueden ser temporales o muchos de ellos permanentes (Diez Herrero, 2018).

#### 1.3.6 Densidad de drenaje

Caracterizada por la división entre la extensión longitudinal total de ríos y esteros de una cuenca sobre el área total de una cuenca, por donde discurren los arroyos, (Ecuación 1.3) (Valencia, 2017). En general, un alto espesor de residuos se relaciona con "materiales impenetrables a nivel de subterráneo, escasa vegetación y ayuda desigual" (Strahler, 1964), sin perjuicio de que demuestre que la cuenca tiene una infiltración adecuada para cuando ocurran las tormentas.

Una cuenca drenada produciría poca oportunidad para dar tiempo a que el desbordamiento superficial se infiltre y sea permeable a nivel subterráneo, posteriormente los acuíferos de estos lugares son de bajo rendimiento o generalmente el volumen de energización es excepcionalmente pobre (Ruiz, 2001). Por otro lado, un bajo espesor de residuos refleja una "cuenca inadecuadamente agotada con una reacción hidrológica extremadamente lenta" (Paulhus & Linsley, 1977) y además recomienda materiales duros y seguros según la perspectiva litológica. En la Tabla 1.2 se visualiza los valores de interpretación de la densidad de drenaje de una cuenca.

$$D_d = (\text{Longitud corrientes, (km)} / \text{Área cuenca, (km}^2\text{)}) \quad (1.3)$$

Tabla 1. 2 Valores interpretativos de la densidad drenaje.

Densidad de Drenaje ( $km/km^2$ )	Categoría
<1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
>3	Muy alta

(Delgadillo et. al, 2008)

### 1.3.7 Hidrogeología

Es el estudio del agua que localiza entre las capas del subsuelo y las propiedades de las rocas que almacenan y controlan el movimiento del agua subterránea, como su interacción con el suelo y las condiciones bajo las cuales se encuentran los acuíferos para su uso (Custodio & Llamas, 1996).

### 1.3.8 Parámetros Físicos-Químicos

- **Temperatura:** Magnitud de medida obtenida de la energía interna promedio de una o varias moléculas de agua, que se expresa en °C.
- **Sólidos Totales Disueltos (TDS):** Cantidad de sólidos disueltos totales (orgánicas e inorgánicas) disueltas en el agua.
- **Salinidad:** Totalidad de sales minerales que se presentan en el agua, expresadas en mg/l.
- **pH:** Grado de alcalinidad, alcalinidad o acidez y puede variar según el porcentaje de minerales o de algunas sustancias
- **Conductividad:** Medida que tiene una sustancia para permitir o actuar como conductor de electricidad.
- **Resistividad:** Medida de resistencia de una solución para resistir la corriente eléctrica.

### 1.3.9 Métodos geofísicos

La geofísica permite a través de múltiples metodologías, entender las características físicas del suelo superficial y subterráneo, que son: eléctricos, gravitatorios, magnéticos y sísmicos. (Auge, 2008).

### 1.3.10 Sondeos Eléctricos Verticales

En los sondeos verticales, la distancia entre los electrodos se amplía para aumentar la profundidad a la que se mide la resistividad aparente. La representación gráfica de los valores de resistividad aparente resultantes en función del espaciado de los electrodos produce una curva que, cuando se interpreta correctamente, proporciona información sobre el cambio de resistividad en profundidad (Villalva Arias, 2017). Con esos valores de resistividad aparente se puede estipular o inferir el tipo de material que se encuentra en el subsuelo (Figura 1.3).

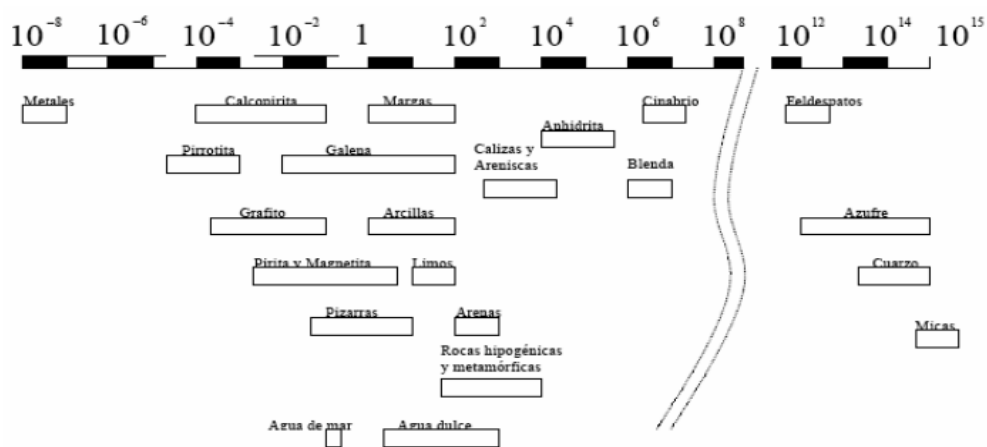


Figura 1. 3 Valores de resistividad eléctrica de diferentes rocas y minerales. (Montalván, 2008)

### 1.3.11 Sondeos electromagnéticos

Las técnicas de exploración por sondeo electromagnético implican la transmisión de un campo magnético a través del subsuelo, cuya reducción está relacionada con la resistividad de la litología actual, lo que permite identificar materiales potencialmente acuíferos, así como el volumen de estos (Mansilla et al., 2017).

### 1.3.12 Metodología de Saaty

El procedimiento de análisis estratificado de Thomas L. Saaty lo creó como un arreglo adaptativo para estudios de elección discreta de medidas múltiples. Los estudios se evalúan a través de etapas que permiten la armonización de datos, la desagregación de datos y la desagregación de datos por partes. Inicialmente,



se establecieron correlaciones de pares de medidas, se ponderó el sentimiento de estas medidas según su importancia (Tabla 1.3) y, por lo tanto, se construyó una cuadrícula. Así, se establecen cargas, que dan la proporción cuantitativa de decisiones entre conjuntos de elementos que tienen un valor significativo (Mendoza et al., 2019).

**Tabla 1. 3 Escala de ponderación de Saaty.**

<b>Valoración</b>	<b>Comparación de criterios de fila / columna</b>
1	Considerable
3	Más considerable
5	Un poco más considerable
7	Probablemente más considerable
9	Completamente más considerable

**(Mendoza et al., 2019)**

# CAPÍTULO 2

## 2 Marco Teórico

### 2.1 Marco geográfico

El Cantón de Paján está ubicado en la parte más suroeste de la provincia de Manabí. Según el Censo de Población y Vivienda de 2010, el estado tiene 37.073 habitantes. El cantón está integrado por cuatro parroquias rurales: Lascano, Cascol, Campozano, Guale. El área del área de investigación es de aproximadamente 1100 km<sup>2</sup>, y el principal afluente del flujo de agua es el río Paján (Valdiviezo Merchán, 2015).

En Cascol se encuentran los recintos de San Juan, Simón Bolívar y San Pablo, el cual se encuentra dentro del área de estudio (Figura 2.1). Estos recintos presentan una población de 1.064 habitantes, donde sus principales ingresos económicos son las actividades agrícolas y ganaderas (Censo, 2010).

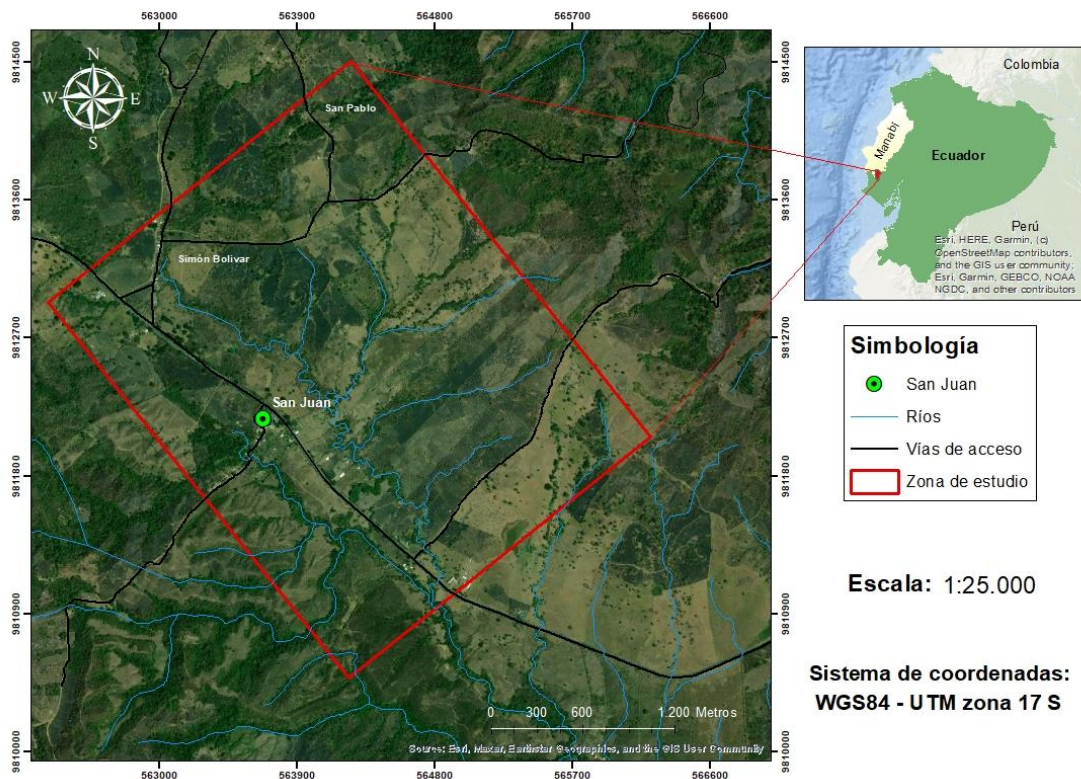


Figura 2.1 Mapa de zona de estudio

## **2.2 Clima, precipitación, temperatura**

En la parroquia Cascol del cantón Paján, se tiene un clima tropical con una temperatura media anual de 24°C. Hay dos estaciones bien diferenciadas, seca y lluviosa. Cascol es una zona propensa a los desastres naturales causados por las lluvias, y durante el último fenómeno de El Niño se derrumbaron cerros enteros llevándose cafetales, árboles y animales, la falta de vegetación provocó sequías en los años siguientes (Menéndez Mendoza, 2018). La precipitación media anual es de aproximadamente 2000 mm. En este territorio existen zonas de escasez de agua con potencial de evaporación de hasta 1600 mm (Zambrano, 2011).

## **2.3 Geomorfología – Relieve**

Las formas de relieve que se presentan en esta zona son: taludes estructurales o estructuras en forma de laderas inclinadas con pendientes abruptas, las áreas del valle tienen amplias terrazas y los ríos que serpentean en estas áreas son afluentes del río Paján. También se encuentran relieves costeros centrales que están divididos por dos bloques morfoestructurales que se encuentran separados por la falla Cascol (Plaza, 2019). Dentro del relieve de la parroquia Cascol se localizan relieves montañosos, siendo parte de la cordillera oriental de Colonche (GAD Paján, 2014).

## **2.4 Cobertura Vegetal**

Cascol posee una gran diversidad, formando parte de la cordillera Colonche, sin embargo, debido a las actividades humanas descontroladas, tiene que enfrentar problemas ambientales como la deforestación, la calidad del suelo, el agua y la pérdida de recursos. Es decir, los diagnósticos se convierten en herramientas con el propósito de comprender las realidades ambientales, proponer medidas de control y proteger los recursos de nuestra parroquia. (GAD Paján, 2014). Muchas de la zona de cascol comprenden áreas de cultivo como el café o el cacao, otras de las zonas comprenden un bosque seco y otra parte bosque húmedo.

## **2.5 Marco Geológico – Geología Regional**

El proceso de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana ha desencadenado zonas tectónicas activas de vulcanismo continental, sismicidad, levantamiento, hundimiento y deformación de la corteza continental en el Ecuador (Villitanga & Rubén, 2020).

El basamento de la zona costera pertenece al periodo del Cretácico asociado a sedimentos oceánicos cubiertos por sedimentos del Paleógeno-Cuaternario. Además, la zona costera se ha identificado como un terreno alóctono con un origen oceánico que se acrecentó progresivamente al margen continental desde el cretácico superior hasta el Eoceno (Villitanga & Rubén, 2020).

Los terrenos de acreción se definen como secuencias de basamento cristalino básico (Jaillard et al., 1999), cubierto por arcos volcánicos intraoceánicos (Jaillard et al., 1995). Estas secuencias del Cretácico están superpuestas por secuencias sedimentarias depositadas en diferentes paleo-ambientes, desde ambientes de transición neríticos hasta ambientes de transición en el período del Paleógeno-Cuaternario. (Villitanga & Rubén, 2020)

Debido a la subducción de las placas de Nazca y Sudamericana, los procesos tectónicos extensionales durante el Eoceno (Jaillard, 1995) y los procesos tectónicos compresivos durante el Neógeno (Benítez, 1995) han deformado las regiones costeras y asentado las cuencas de antearco actuales. Las principales cuencas a lo largo de la costa son, las cuencas de Borbón, Manabí, Manta, Jama y Progreso. El establecimiento de cuencas de antearco comenzó a mediados del Eoceno, como resultado de un período de alta actividad tectónica asociada con actividad oblicuamente convergente a lo largo de la costa (Villatanga et al., 2020).

La Cuenca de Manabí es una cuenca de deslizamiento en la que se han producido procesos de compresión y extensión por subducción entre placas tectónicas. Además, intensas subsidencias desde el Eoceno Superior hasta el Neógeno llenaron la cuenca (Benítez, 1995). Por otro lado, el registro

estratigráfico muestra tanto secuencias sedimentarias como de basamento depositadas en cuencas de antearco (Villitanga & Rubén, 2020).

### **2.5.1 Formación Piñón**

La base del antearco ecuatoriano consiste en una variedad de rocas, originalmente descritas como rocas porfídicas y verdes (Wolf, 1892), distribuidas a lo largo de la costa desde la Cordillera occidental hasta la costa ecuatoriana (Olsson, 1940).

En 1948, Tschopp H. J. nombró a la Formación Piñón al conjunto de basalto, gabro, diabasa, piroclásticos, intrusivos de grano grueso y diorita-diorita que representan los mismos productos de diferenciación magmática basáltica.

La Formación Piñón consiste en capas de rocas volcánicas y rocas intrusivas intermedias ácidas y geoquímicas, razón por la cual Goossens & Rose la denominó "complejo ígneo básico" en 1973 al final de un estudio de datación utilizando el método K: Ar.

### **2.5.2 Formación Cayo**

Teodoro Wolf en 1892, describió la Fm. Cretácico Litoral, en donde las rocas y litología de la Fm. Cayo forman parte. La Fm. Cayo está caracterizada por series de rocas sedimentarias de facies submarinas ubicadas en el afloramiento del acantilado de Puerto Cayo con una litología similar a la de la Cordillera Chongón Colonche (Olsson, 1940). La Fm. Cayo Inferior corresponde a flujos piroclásticos de origen dacítico, depositados en ambientes abisales, mientras que la Fm. Cayo Superior corresponde a tobas de origen andesítico depositadas en ambientes marinos someros (Machiels et al., 2014). La edad de la Fm. Cayo corresponde al Cretáceo Superior: Santoniano Superior - Maastrichtiano (Bristow et. al., 1990).

### **2.5.3 Formación Onzole**

La Fm. Onzole se divide en segmentos inferior y superior. Cerca del fondo del Onzole Inferior emergen arcillas frescas de color gris azulado, además de lutitas y limolitas de color gris oscuro que contienen foraminíferos, radiolarios, moluscos

y escamas de pescado. El Miembro Onzole Superior se caracteriza por un incremento de microfauna rica en foraminíferos bentónicos y planctónicos (Ordoñez, 2006) El Miembro Onzole Inferior contiene una edad de Mioceno Tardío, mientras que el Miembro Onzole Superior tiene una datación del Plioceno Temprano (Villitanga & Rubén, 2020).

#### **2.5.4 Formación Angostura**

La Formación Angostura está formada por conglomerados de basamento, seguidos de areniscas de cuarzo blanco y areniscas de cuarzo feldespático marrón, que contienen clastos líticos y anfíboles intercalados con limolitas y lutitas grises, calcáreas y de textura blanda. Estas son areniscas de color gris claro de grano fino a grueso, algunas tobáceas y localmente laminitas. La formación se vuelve más fino y uniforme hacia el oeste y contiene capas intermedias de lutita. Transiciones de arenisca a través de la formación Onzole hasta la cima. Los afloramientos suelen tener un espesor de 250 m (Ordoñez, 2006). La edad de la Formación Angostura corresponde al Mioceno Medio Inferior – Mioceno Medio Superior (Ordoñez et. al., 1988).

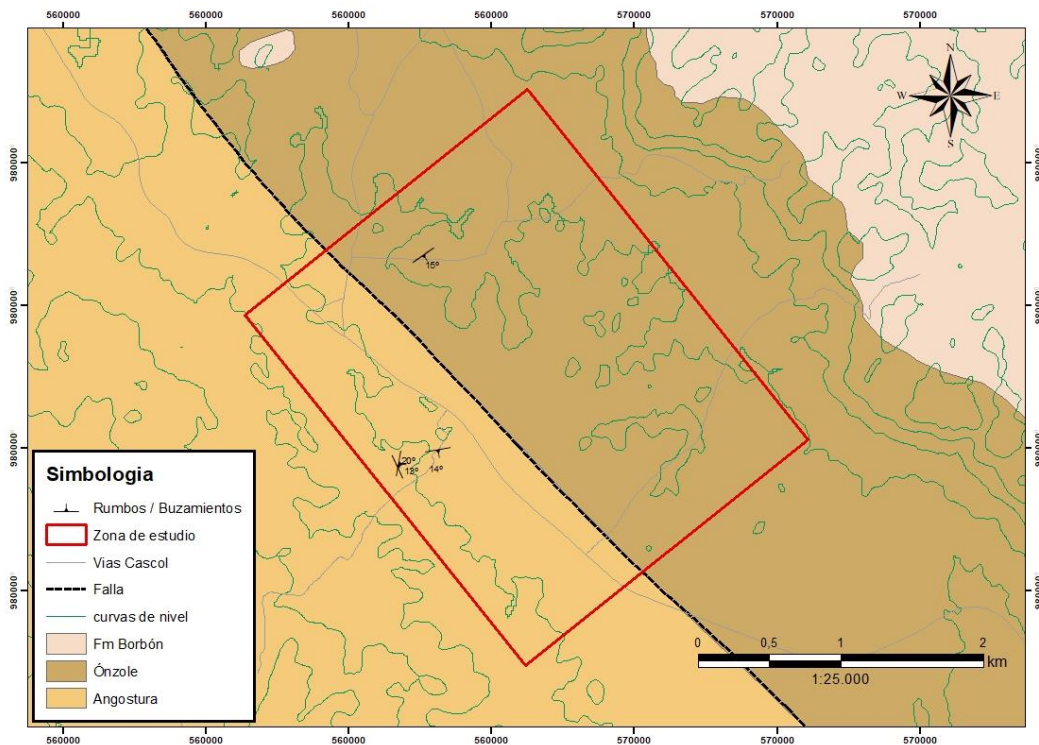
#### **2.5.5 Formación Borbón**

La Formación Borbón consiste en areniscas de color gris azulado de grano medio a grueso con abundantes megafósiles, las capas intermedias contienen tobas volcánicas grises y lentes de conglomerados, típicamente conglomerados de basamento ubicados discordantemente en la Formación Onzole. La Cuenca Borbón tiene las capas más gruesas, pero aflora extensivamente a lo largo del lado Oriental de la cuenca de Manabí (Enríquez Villarreal & Espinosa Quinde, 2018). La edad correspondiente a la Formación Borbón corresponde al Plioceno-Pleistoceno temprano por su posición estratigráfica (Ordoñez, 2006).

### **2.6 Marco Geológico – Geología Local**

La parroquia Cascol del cantón Paján está ubicada en la Cuenca de Manabí y está influenciada por la tectónica regional, especialmente en las montañas costeras, como los anticlinales levantados de Jipijapa y Tosagua (Lañinez, 2009). Su desarrollo geológico se inició en el período Jurásico. La deposición

marina comenzó en el Cretácico Superior, con la formación de Cayo, y luego, en ese momento, continuó un período de erosión hasta el Mioceno, con las areniscas transgresoras de Fm. Angostura; posteriormente se depositaron limos y arcillas de la Formación Onzole en el Mioceno Superior y Superior. Finalmente, en la parte superior, posiblemente continuando hacia el Plioceno, se depositaron areniscas calcáreas pertenecientes a la Fm. Borbón (Fig. 2.2) (Ramirez Parrales et. al., 2013).



**Figura 2.2 Mapa geológico**

## 2.7 Hidrología

En la parte norte de Cascol se puede encontrar una extensa red hidrográfica, las cuales, son en su mayoría esteros de cortos recorridos; estos esteros son atribuidos a los principales ríos los cuales son: Río Banchal, Río Gramalotal, Río Guanábano, Río de Muñoz, Río Blanco, Río Cade, Río Cascol. Los caudales de estos ríos son de sentido oeste a este (GAD Cascol, 2021).

# CAPÍTULO 3

## 3 Metodología

Para desarrollar este proyecto, se realizó un mapeo geológico e hidrogeológico para identificar las diferentes litologías que se encuentran en el área de estudio, utilizando técnicas de observación, además de herramientas de recolección de datos obtenidos en campo de la prospección geofísica en aplicaciones de sondeos eléctricos verticales y electromagnéticos.







### 3.1 Materiales

#### 3.1.1 Instrumentos de campo

Nombre del equipo	Imagen	Descripción	Actividad
Navegador GPS		Proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación.	Levantamiento litológico y estructural
Flexómetro		Proporciona mediciones manuales de longitudes y alturas.	
Brújula Geo-Brunton		Mide el rumbo y buzamiento de las capas en los afloramientos	
Martillo geológico "ESTWING"		Toma muestras de roca	
Chaleco geológico		Prenda de vestir para el almacenamiento de instrumentos y herramientas geológicas	



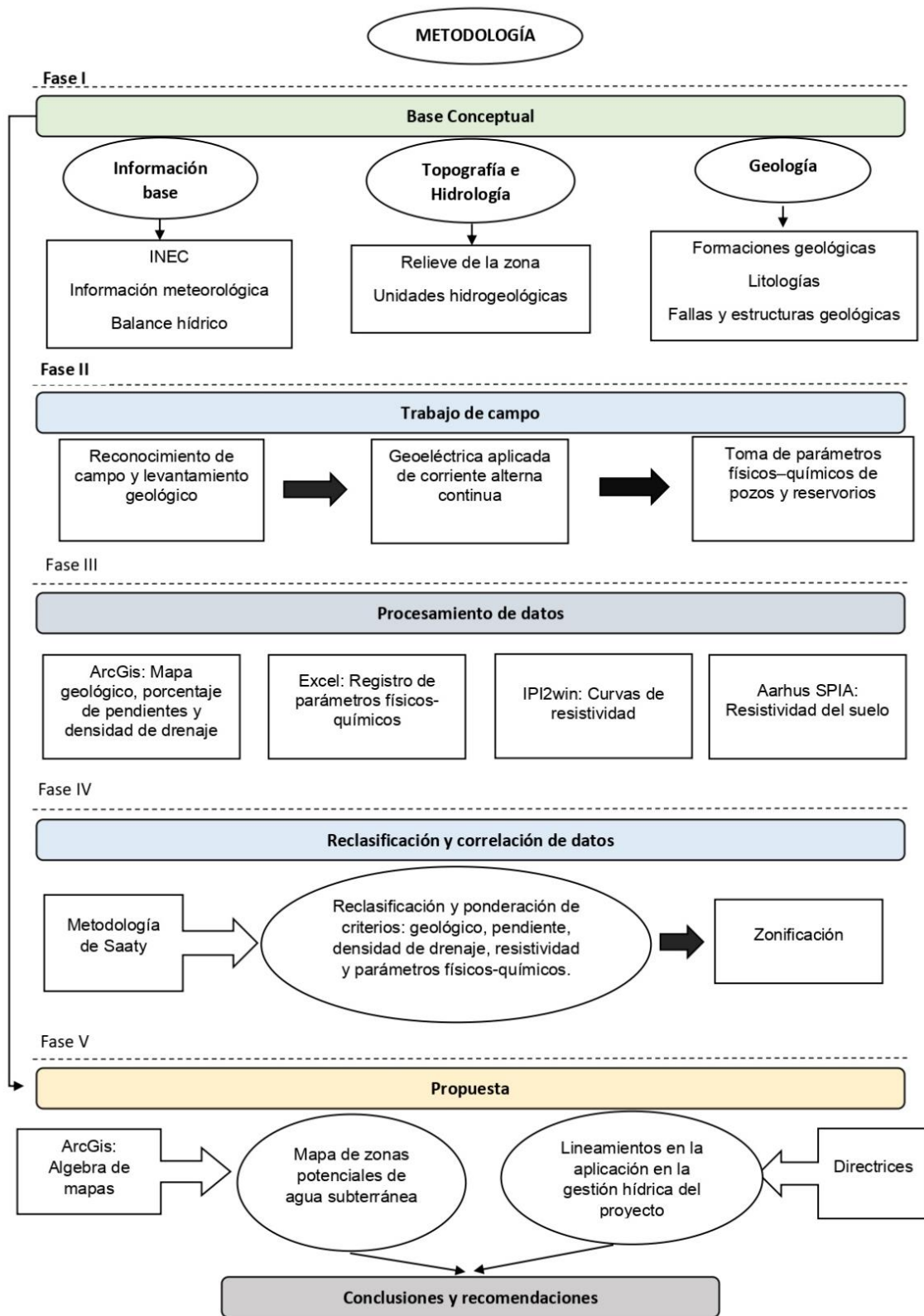
### 3.1.2 Equipos Geoeléctricos

Nombre del equipo	Imagen	Descripción	Actividad
Cables Multi electrodos		Permite llevar las conexiones adecuadas para que el tomógrafo haga la toma de muestras	Prospección geofísica
Batería 12 Voltios		Su capacidad es de 12 V con 18 Ah	
Sondeos Eléctricos Verticales		Medidor de resistividad a profundidades intermedias	
Electrodos		Varillas de acero inoxidable	
Cinta métrica (100 m)		Proporciona mediciones de longitud entre los electrodos	
Combo		Utilizado para percutir los electrodos	

### 3.2 Metodología general

### 3.3 Procedimiento

La metodología general llevada a cabo se dividió en 5 fases, las cuales se detallan en el flujograma de la Figura 3.1.



**Figura 3. 1 Esquema de la metodología general**

### 3.3.1 Fase I: Base conceptual

En esta fase se recopiló y analizó la información obtenida de fuentes bibliográficas (Tabla 3.1), como datos bibliográficos, geológicos, hidrogeológicos, cartográficos y de precipitaciones existentes en el área de estudio. La búsqueda y revisión bibliográfica de artículos, libros, revistas geológicas y bases de datos bibliográficas buscadas en Internet, así como compilaciones cartográficas y geológicas. Además de realizar interpretaciones de imágenes satelitales.

**Tabla 3.1 Tabla de la información obtenida**

<b>Título</b>	<b>Detalle</b>	<b>Obtenido de</b>	<b>Año</b>
Anuarios meteorológicos	Datos precipitación y temperatura	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología	1993-2013
GAD Cascol	Geografía y densidad poblacional del sector	GAD Parroquial de Cascol	2015
Información geográfica en formato shapefile de Manabí - Paján	Hidrología, geología, geomorfología	Instituto Nacional de Información	2013
Hoja geológica de Guanábano	Topografía del sector	Instituto Geográfico Militar	1974

La información recopilada que se puede observar en la Tabla 3.1, facilitó la ubicación espacial de la geología, la topografía y la ubicación de los ríos que se encuentran en el sector, mientras se dio la fase de campo. De los datos meteorológicos se extrajo datos de la temperatura y precipitaciones para realizar el análisis multitemporal y elaborar el balance hidrológico. Mientras que en el GAD de Cascol se pudo obtener información de censos poblacionales de los recintos, la economía, ubicación y características generales de la zona.

#### 3.3.1.1 Análisis multitemporal

Con la información obtenida de los anuarios meteorológicos se pudo realizar el análisis multitemporal de la precipitación y evapotranspiración anual en el periodo 1993 – 2013. Los datos que se obtuvieron para el análisis fueron datos de temperatura media y datos de precipitaciones mensuales y anuales, de la estación meteorológica de Olmedo – Manabí (M0166), esta es la estación más cercana y presenta una serie de datos más completa de la zona. Por último, se

calculó los valores de evapotranspiración real, mediante la fórmula de Turc (Ramos, 2012).

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

Donde:

Er: Evapotranspiración real en mm

P: Precipitación en mm

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

T: Temperatura media anual en °C

### 3.3.1.2 Balance hídrico

El balance hídrico se calculó en el periodo 1993 – 2013, donde se usó los datos de las precipitaciones mensuales y los datos de temperatura media mensual de la estación de Olmedo (M0166). Dichos datos fueron obtenidos de los reportes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. A continuación, se presenta la ficha con las variables que se utilizó para realizar el balance hídrico.

Los datos recolectados para el balance hídrico fueron calculados para la Precipitación (P), Evapotranspiración (ETP), Déficit (DÉF) y Excedentes (EXC); los cuales fueron tomados durante los doce meses del año. En el Anexo 1, se muestra la ficha de campo para la determinación del balance hídrico del suelo.

La evapotranspiración potencial se calculó mediante el método de Thornthwaite (Ramos, 2012). A continuación, se detalla su procedimiento:

- El índice de calor mensual se calculó para cada mes, en donde se usa la temperatura media mensual (t), ver ecuación 3.1.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad (3.1)$$

- Luego, el índice de calor de los 12 meses se suma y se usa este valor para encontrar la evapotranspiración mensual “sin corregir” ( $EPT_{sin\ corr.}$ ), ver ecuación 3.2

$$\bullet \quad EPT_{sin\ corr.} = 16 \left( \frac{10.t}{I} \right)^a \quad (2.2)$$

Donde:

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

- Por último, la evapotranspiración potencial corregida (ETP) se la obtuvo con la siguiente expresión, donde se utilizó el número de días de cada mes (d), además el número máximo de horas de sol (N), que en Ecuador es un valor promedio de 12,01.

$$\bullet \quad ETP = ETP_{sin\ corr.} \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30} \quad (3.3)$$

Para finalizar con el cálculo de la evapotranspiración potencial, se compara los valores entre la precipitación y la evapotranspiración real mensual y sus excedentes.

### 3.3.2 Fase II: Trabajo de campo

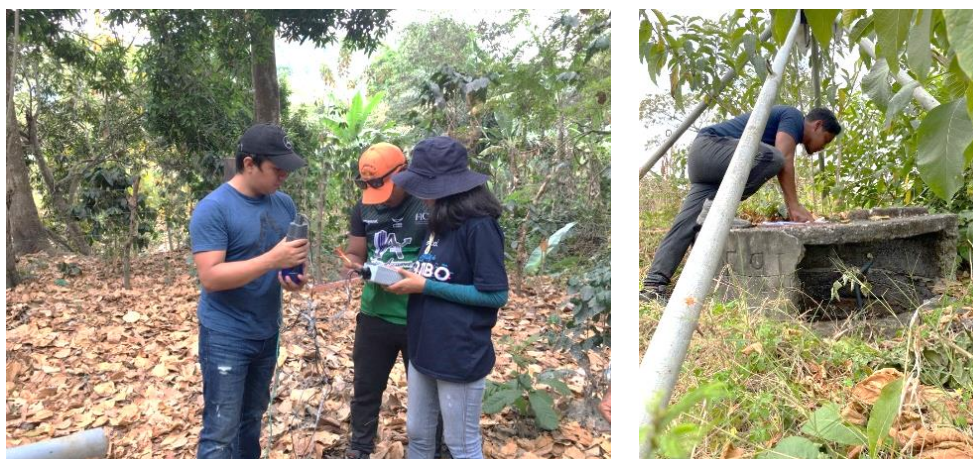
La segunda etapa incluye la realización de mapeos geológicos y descripciones litológicas. Así mismo, las mediciones se realizan en puntos clave del área de estudio, determinados en base a la revisión de la data base (hidrogeología y topografía). En base a los puntos de interés identificados por la revisión hidrogeológica, se realizaron 11 sondeos de geoelectrónica, analizando las zonas favorables donde puedan existir posibles acuíferos y zonas de recargas.

Además, para cada estación geológica se analizó parámetros como las características del suelo, la presencia de estructuras geológicas, la presencia de agua y la cobertura vegetal. También se registró la ubicación de cada punto obtenido en el campo. A continuación, se presenta las observaciones realizadas

en las estaciones de mayor interés. En el Anexo 5, se muestra la ficha de campo para la descripción geológica de las estaciones.

### 3.3.3 Toma de datos de parámetros físicos-químicos de pozos

Para la toma de datos de parámetros físico-químicos en pozos, reservorios, se realizó mediante un dispositivo multiparamétrico de marca WTW. En cada fuente de agua o reservorio se registraron valores de total sólidos disueltos (TDS), salinidad (S), conductividad (C), resistividad (R) y temperatura (T). Un medidor de pH determina la acidez o alcalinidad del agua. Se realizó un censo de los pozos existentes en los recintos de San Juan, Simón Bolívar y San Pablo, donde se levantó información de cada pozo a través de su ubicación geográfica.



**Figura 3. 2 Medición de parámetros físico-químico para determinar la calidad de agua y registro de pozos.**

## 3.4 Fase III: Procesamiento de datos

En esta etapa se desarrolló el procesamiento de los datos obtenidos en campo utilizando los softwares IPI2win, Excel, Aarhus SPIA y ArcGIS. Se obtuvo los siguientes resultados

### 3.4.1 Datos topográficos

Los datos obtenidos durante el levantamiento geológico y levantamientos topográficos se relacionaron con la base conceptual para la primera fase del mapeo geológico, porcentaje de pendiente y densidad de drenaje del área de estudio. Mediante el uso del ArcGIS, se realizaron los mapas de la distribución geográfica y espacial de la zona de estudio donde se analizaron los parámetros

antes mencionados, se crearon shapefile con la finalidad de tener una mejor distribución de sus elementos y poder reclasificar la información para obtener mediante un algebra de mapas, las zonas favorables a aguas subterráneas.

### **3.4.2 Datos hídricos**

Se utilizó el programa Excel para tabular los valores de los parámetros físico-químicos de los recursos hídricos en el área de estudio, detallando cada uno de sus valores y su ubicación. Por medio de gráficas y datos de precipitaciones anuales y mensuales obtenidos del INAMHI se elaboró curvas de precipitaciones anuales máximas y mínimas, en un periodo de 20 años. Además, mediante la fórmula de Thornthwaite se calculó los periodos con déficit, excedentes y reservas de agua en mm/año.

### **3.4.3 Datos geofísicos**

Los datos recolectados en los SEV's y EM's se procesaron en los programas IPI2Win y Aarhus SPIA respectivamente. Se obtuvo valores aproximados de profundidad, espesor y resistividad de cada capa del subsuelo con la finalidad de encontrar capas saturadas o litologías favorables a encontrar aguas subterráneas. Estos datos se procesaron para obtener valores de resistividad aparente, ajustando la curva de resistividad para tener un margen de error menor al 5% para tener una mayor precisión en los resultados.

## **3.5 Fase IV: Datos reclasificados y correlacionados**

Mediante la vinculación del mapa geológicos, porcentajes de inclinación y densidades de drenajes, añadiendo los datos que se obtuvieron en campo, como la calidad de agua a través de los parámetros físico-químicos del agua y las resistividades aparentes de las capas del subsuelo, se necesita reclasificar y homologar los valores en unidades de importancia.

Para ello, se utilizó una clasificación potencial del 1 al 5, en la que el 1 corresponde al valor mínimo y 5 al valor máximo, en referencia a estos criterios se identifica las zonas con potencial de aguas subterráneas. En cuanto a los criterios geológicos, se realizó una evaluación en base a la permeabilidad de la litología (Tabla 3.2).

**Tabla 3. 2 Ponderación litológica**

<b>Criterio</b>	<b>Composición</b>	<b>Valoración</b>
Litología	Arenisca de grano medio, Bancos calcáreos	5
	Areno – arcillosa con clastos de arenisca	4
	Arena fina a media con limos y clastos de areniscas	3
	Limos y arenas con clastos de arenisca	2
	Limos, arenas con clastos volcánicos	1
	Arcillas y limolitas laminadas	1

Para el criterio de pendiente (Tabla 3.3), la evaluación se basa en la clasificación de pendiente porcentual aplicada por Ortiz (2004). En los criterios de densidad de drenaje se realizaron valoraciones de acuerdo con la clasificación utilizada por Shukla (2014) (Tabla 3.4).

**Tabla 3.3 Ponderación de porcentaje de pendientes**

<b>Criterio</b>	<b>% de pendiente</b>	<b>Descripción de terreno</b>	<b>Valoración</b>
Porcentaje de pendiente	0-5 %	Plano – Suave	5
	5-15 %	Inclinado	4
	15-25 %	Ondulado	3
	25-50 %	Colinado	2
	50-70%	Escarpado	1
	>70 %	Montañoso abrupto	1

Para los estándares de resistividad del subsuelo (Tabla 3.5) y los parámetros físico-químicos obtenidos en campo, el área de estudio debe dividirse de acuerdo con la distribución y ubicación de los pozos, los recursos hídricos y las comunidades dentro del área de estudio. Las nuevas estimaciones utilizadas en estas zonas utilizan como principal criterio el espesor de la capa saturada estándar de resistividad; mientras que la salinidad y el valor TDS del agua analizada son los principales aspectos para evaluar los parámetros físicos y químicos (Tabla 3.6).

**Tabla 3. 4 Ponderación de la densidad de drenaje**

<b>Criterio</b>	<b>Unidad (<math>km/km^2</math>)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
Densidad de drenaje	<1	Muy baja	5
	1-2	Baja	4



Criterio	Unidad ( $km/km^2$ )	Descripción	Valoración
	2-4	Moderada	3
	4-6	Alta	2
	>6	Muy alta	1

**Tabla 3. 5 Ponderación del rango de resistividad de la geofísica**

Criterio	Saturación de capas del suelo	Descripción	Valoración
Rango de resistividad del suelo	80 – 90%	Saturación máxima	5
	60 – 80%	Saturación alta	4
	40 – 60%	Saturación media	3
	20 – 40%	Saturación baja	2
	0 – 20%	Saturación nula	1

**Tabla 3. 6 Ponderación de rango de TDS en los pozos**

Criterio	TDS	Descripción	Valoración
Parámetros de pozos	(< 290) ppt	Baja	5
	(290 - 500) ppt	Moderada	4
	(500 - 750) ppt	Alta	3
	(> 750) ppt	Muy Alta	2

### 3.5.1 Validación de criterios

Se ha determinado la importancia de los criterios individuales para las zonas con alto potencial, de modo que todos los elementos estén incluidos en un mapa. Utilizando el método de análisis jerárquico de Saaty (1980), se utilizó una matriz cuadrada para comparar cada par de elementos y sus componentes: litología, pendiente porcentual y densidad de drenaje, prospección geoelectrica y parámetros físicos-químicos del agua.

**Tabla 3. 7 Ponderación de la jerarquización de Saaty**

Valoración	Comparación de criterios de fila / columna
1	Considerable
3	Más considerable
5	Un poco más considerable
7	Probablemente más considerable
9	Completamente más considerable

**Tabla 3. 8 Ponderación de criterios de la "Jerarquización Analítica de Saaty"**

Criterios	Litología	% Pendiente	Densidad de drenaje	Prospección Geoelectricas	Parámetros físicos-químicos	Suma	Ponderación
Litología		5	3	9	9	26.00	0.40
% Pendiente	0.2		3	3	9	15.00	0.23
Densidad de drenaje	0.2	1		5	7	15.00	0.23
Prospección Geoelectricas	0.2	0.33	0.2		7	8.00	0.12
Parámetros físicos-químicos	0.143	0.142	0.2	0.2		1.00	0.02
						65.00	1.00

Para realizar el mapa de áreas con potencial aguas subterráneas, se generó algunos *rasters* reclasificados con ponderaciones, mediante álgebra de mapas de la ecuación 3.4:

$$\text{Mapa de Área con Potencial de Agua Subterránea} = (0.40 * \text{Litología}) + (0.23 * \text{Pendiente}) + (0.23 * \text{Densidad de Drenaje}) + (0.12 * \text{Prospección Geoelectrica}) + (0.02 * \text{Parámetros fisicoquímicos del agua}). \quad (3.4)$$

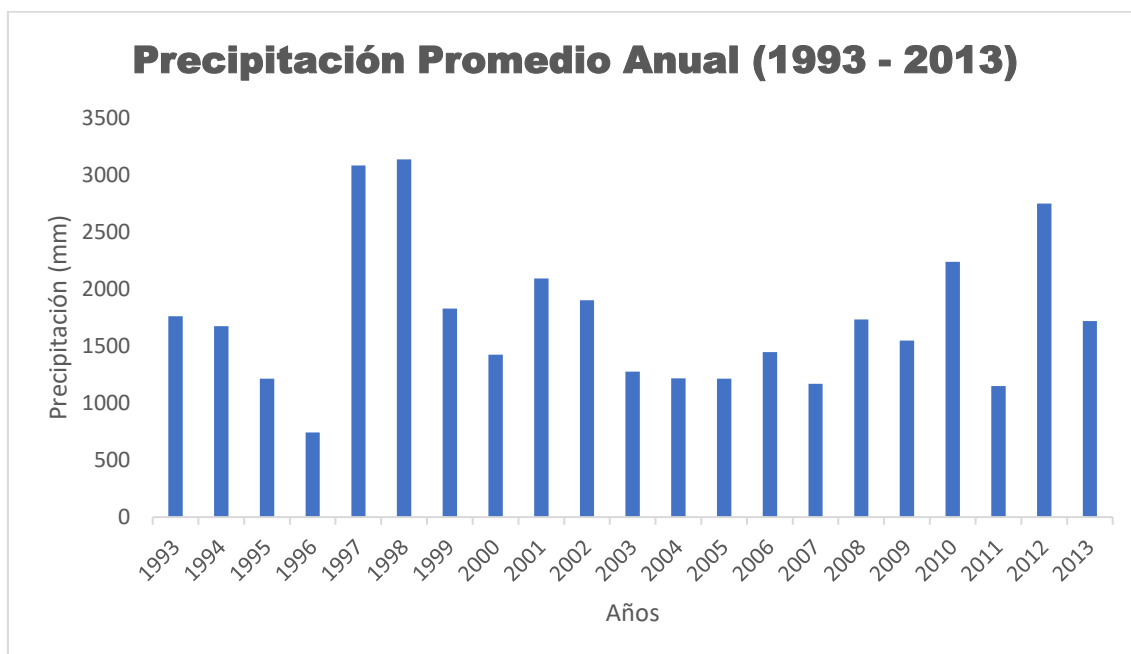
# CAPÍTULO 4

## 4 Resultados y análisis de resultados

En los resultados de la fase I se obtuvo el análisis multitemporal y el balance hídrico, donde se usó datos de la estación Olmedo – Manabí. A continuación, se detalla los resultados.

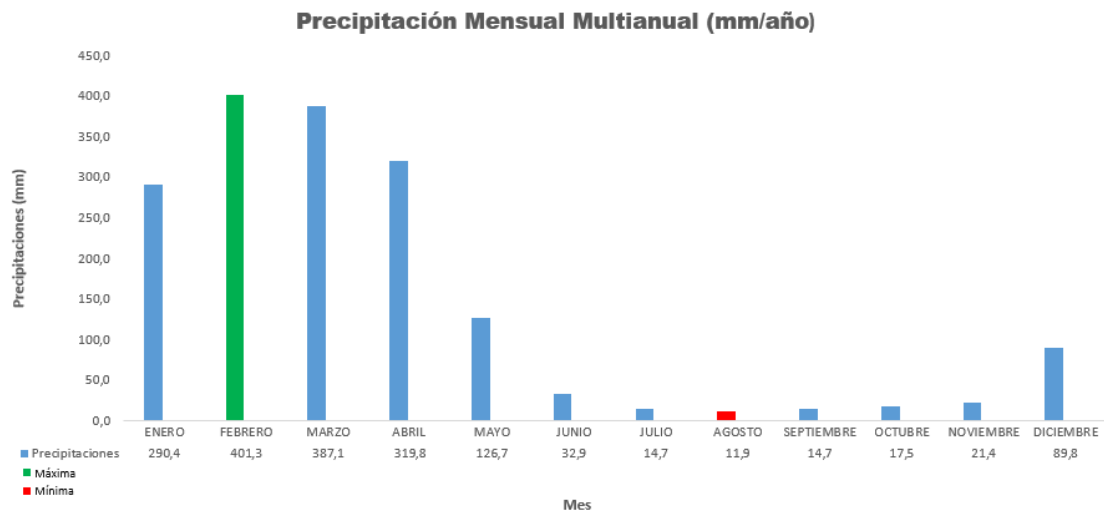
### 4.1 Análisis multitemporal

Se obtuvo como resultado el análisis multitemporal (Figura 4.1) con los datos de precipitaciones anuales y mensuales de la estación Olmedo, debido a su proximidad en los datos extraídos de los anuarios meteorológicos y cercanía al área de estudio.



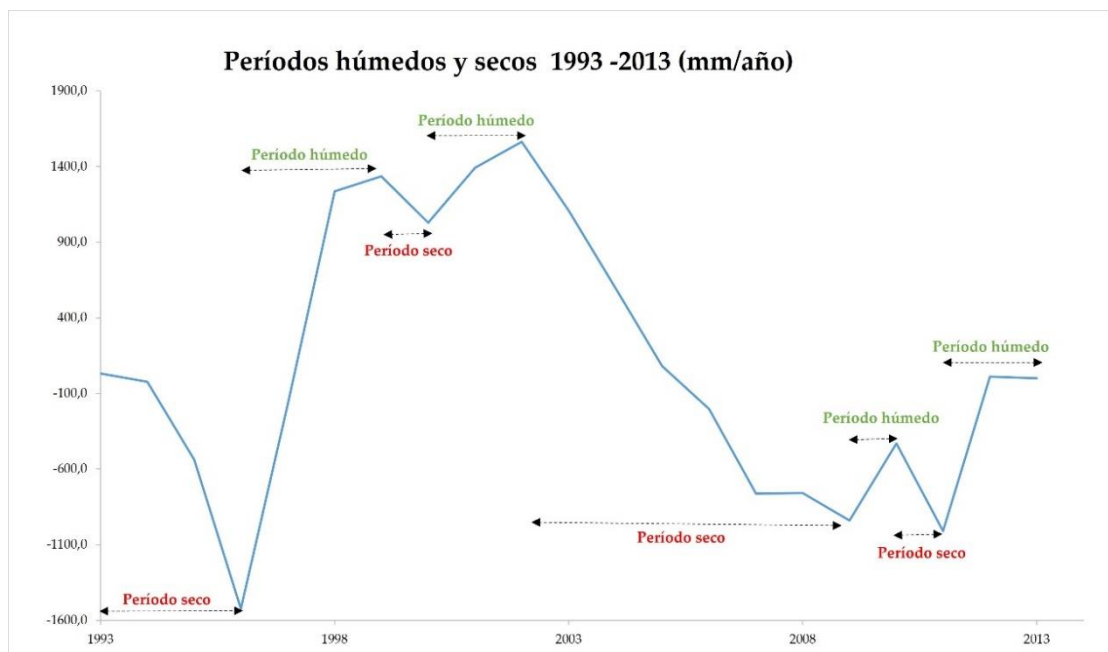
**Figura 4. 1 Análisis multitemporal 1993-2013**

En la Figura 4.1, se puede observar que las precipitaciones más altas se dieron en el año de 1997 y 1998, debido a la influencia del fenómeno de El Niño que se suscitó durante ese periodo. En el año 2012 se puede evidenciar la presencia de altas precipitaciones, que existió un registro de 2800 mm.



**Figura 4.2 Análisis multitemporal mensual 1993-2013**

En la Figura 4.2 se observa que las mayores precipitaciones mensuales se dan en el periodo del mes de enero hasta mayo, teniendo como máxima precipitación de 401,3 mm en el mes de febrero. Posterior a eso continua una época de bajas o casi nulas precipitaciones siendo la más baja de 11,9 mm en el mes de agosto.



**Figura 4.3 Análisis de períodos húmedos y secos**

El diagrama de la Figura 4.3 se indican los periodos secos y húmedos. En la zona de estudio predominan las secuencias de periodos secos con series de

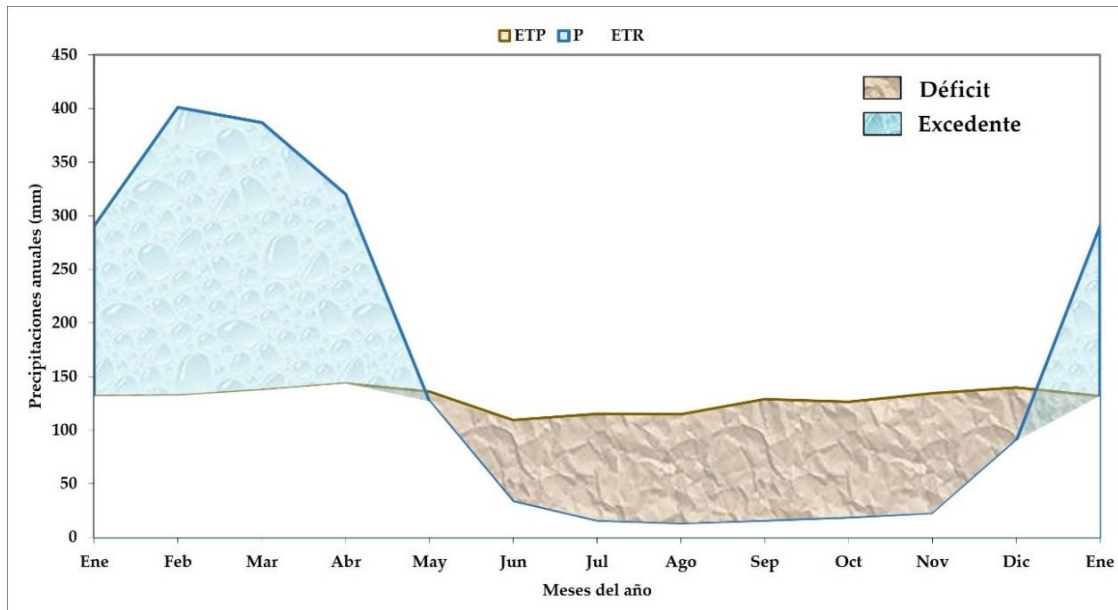
aproximadamente 11 años, mientras que las secuencias húmedas no supera los 9 años.

#### 4.2 Balance hídrico

El balance hídrico (Tabla 4.1) se obtuvo mediante los datos extraídos de los anuarios meteorológicos de la estación Olmedo (M0166) en un periodo de 20 años (1993 - 2013).

**Tabla 4. 1 Balance hídrico del periodo 1993 – 2013**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Total
<b>P (mm)</b>	290,4	401,3	387,1	319,8	126,7	32,9	14,7	11,9	14,7	17,5	21,4	89,8	290,0	2018,2
<b>ETP corr. (mm)</b>	131,6	132,3	137,0	143,5	136,0	109,5	115,1	114,6	128,8	126,3	134,2	139,7	131,6	1680,2
<b>ETR (mm)</b>	131,6	132,3	137,0	143,5	136,0	109,5	108,8	11,9	14,7	17,5	21,4	89,8	131,6	1054,0
<b>Déficit (mm)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	102,7	114,1	108,8	112,8	49,9	0,0	494,6
<b>Reserva (mm)</b>	158,8	180,0	180,0	180,0	170,7	94,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	158,8	
<b>Excedentes (mm)</b>	0,0	247,8	250,1	176,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	674,2



**Figura 4. 4 Gráfica del balance hídrico**

En la Figura 4.4, se puede visualizar que existe una mayor precipitación en los meses de febrero y mayo, mientras que los meses más secos son a partir de junio hasta inicios de diciembre en donde inician las primeras lluvias del periodo invernal. También se obtuvo la capacidad de campo de la zona de estudio de 180 mm de agua.

El resultado que se obtuvo en el balance hídrico (Tabla 4.1 y Figura 4.4), mostró un valor de evapotranspiración potencial anual de 1680,2 mm de agua, mientras que para la precipitación media anual presentó un valor de 2018,2 mm. El balance hídrico se lo realizó durante un periodo de transición entre seco y húmedo (Figura 4.3), donde existe algunas capas del suelo que permiten el almacenamiento durante los periodos secos y se recarguen los acuíferos de la zona.

### 4.3 Levantamiento geológico

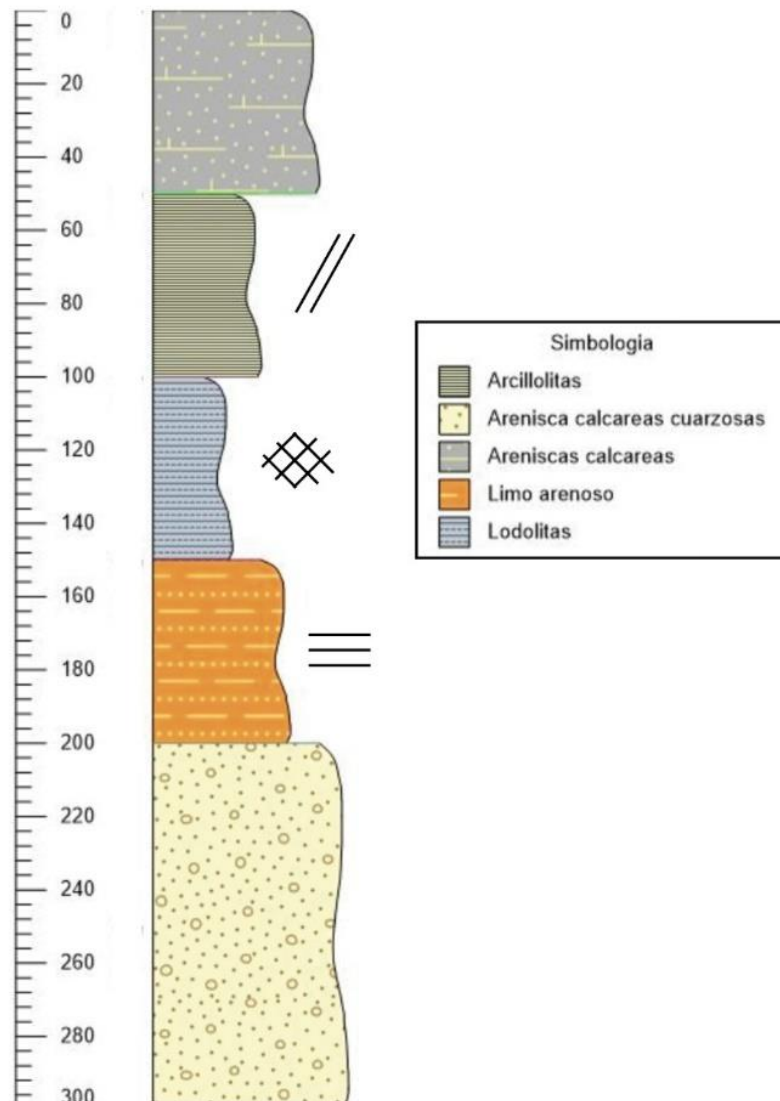
En esta sección se pudo realizar el levantamiento litológico de la zona de estudio, explorando cada uno de los afloramientos encontrados buscando los diferentes tipos de litologías para asociarlas a las formaciones pertenecientes.

**Tabla 4. 2 Resumen de la descripción litológica**

<b>Estación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Resumen</b>	<b>Formación Geológica</b>
N.º1 (Ver Anexo 6)	564697	9811456	Suelo arcilloso con presencia de arena. No se presentaron afloramientos en el sector	Onzole
N.º2 (Ver Anexo 7)	56441	9811343	Suelo arcilloso con presencia de lutitas y limolitas. Se evidenciaron fracturas de arcillas (lutitas oxidadas) aparentemente con contenido de hierro.	
N.º5 (Ver Anexo 10)	563593	9811945	Presencia de material calcáreo y de arenisca de grano fino –medio. Se presenta una estructura aflorando en el río en donde se identificaron fósiles de moluscos y conchas.	Angostura
N.º8 (Ver Anexo 13)	563502	9813312	Suelo arcilloso. Capas decimétricas a centimétricas estratificadas con presencia de fracturamiento. Presencia de micro fallas.	Onzole
N.º9 (Ver Anexo 14)	563155	9811945	Presencia de rocas aflorantes con presencia de arenisca calcáreas conglomeráticas.	Angostura

En la Figura 4.5 se puede observar la columna litológica con los datos obtenidos en el levantamiento geológico realizado. En el sector de San Juan se identificaron las areniscas calcáreas conglomeráticas cuarzosas pertenecientes a la formación Angostura, este tipo de litología se la localizó en el sector de San Juan, en donde se ubican muchos de los pozos de la zona. Luego sobreyaciendo, un material limo arenoso perteneciente a la Fm. Onzole inferior, con una dirección de buzamiento de 14N/280. En las partes más altas y cercanos al cauce del río se pudo visualizar un material de textura fina color oscuro el cual presentó fracturamientos, y se lo asoció con la litología de lodolitas que pertenecen a la Fm. Onzole medio. En las zonas mas colinada se observó un material de color amarillo claro estratificado con dirección de buzamiento 15°N/238°, capas decimétricas a centimétricas con presencia de microfallas y fracturamiento, esta litologia se la asoció a las arcillolitas

pertenecientes a la Fm. Onzole superior. En las zonas más escarpadas del sector San Pablo, se evidenció la presencia de un material arenoso con presencia de microfósiles calcáreos, asociadas a la Fm. Borbón.



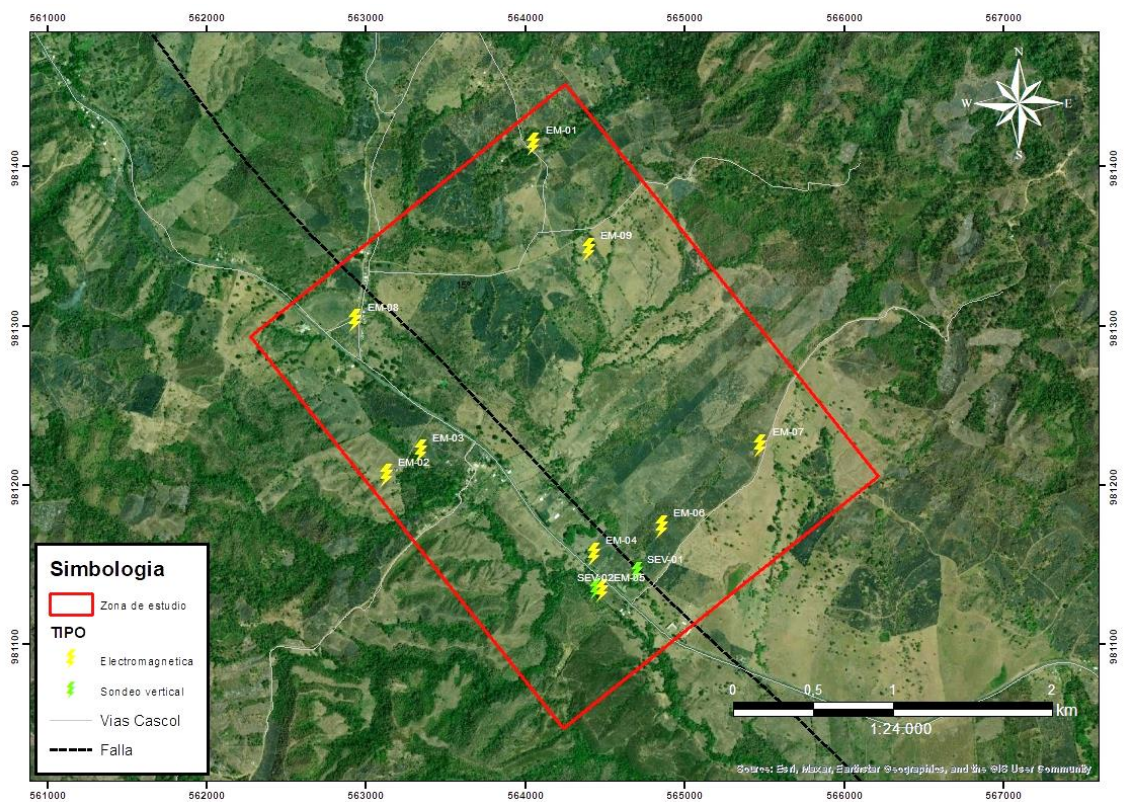
**Figura 4. 5 Columna litológica de la zona de estudio.**

En la Tabla 4.2 se observa el resumen de las descripciones realizadas en las estaciones geológicas establecidas en la zona de estudio. Se realizó un reconocimiento litológico asociándolo a las formaciones aflorantes en el sector, este paso es muy importante para realizar el análisis geofísico en las fases siguientes.



#### 4.4 Prospección geofísica

A partir de los datos registrados por dos medidas de SEV's y nueve de EM's (Figura 4.6), se obtuvo valores que corresponden al espesor, resistividad y profundidad aparente de la capa del subsuelo. Para el procesamiento de los SEV's se usó el software IPI2win, mientras que para los EM's se utilizó el software Aarhus Spia. Se obtuvieron valores que corresponden al espesor, resistividad y profundidad aparente de la capa del subsuelo. Se generó una tabla de referencia de rangos de resistividad aproximados, relacionando sus valores con la geología del sector y los datos recogidos en campo (Tabla 4.3).



**Figura 4. 6 Mapa de ubicación de los sondeos realizados.**

En la descripción de las capas de cada sondeo realizado se elaboró columnas geoelectricas para determinar si existen capas de alto interés hídrico (capas saturadas). En la Tabla 4.4, se muestra la ubicación de cada sondeo realizado.

**Tabla 4. 3 Rangos aproximados de resistividad acorde a la litología.**

<b>Litología</b>	<b>Rango de Resistividades (<math>\Omega</math>m)</b>
Areniscas	80-90
Suelo arcilloso – arenoso	25-50
Arenisca calcárea	30-40
Limolitas	40-80
Arcillas arenosas	11-30
Arcillas laminadas	6-11
Arcillas saturadas	3-6
Arcillas saturadas con posible mineralización	1-3

**Tabla 4. 4 Tabla de ubicación de sondeos realizados**

<b>Sondeos Geofísicos</b>	<b>Ubicación</b>		
	<b>Este (m)</b>	<b>Sur (m)</b>	<b>Cota (m)</b>
SEV-01	564697	9811456	211
SEV-02	564441	9811343	212
EM-01	564053	9814142	703
EM-02	563129	9812062	233
EM-03	563144	9812213	228
EM-04	564431	9811568	208
EM-05	564482	9811336	208
EM-06	564856	9811741	214
EM-07	565476	9812250	229
EM-08	562935	9813033	227
EM-09	564397	9813482	703

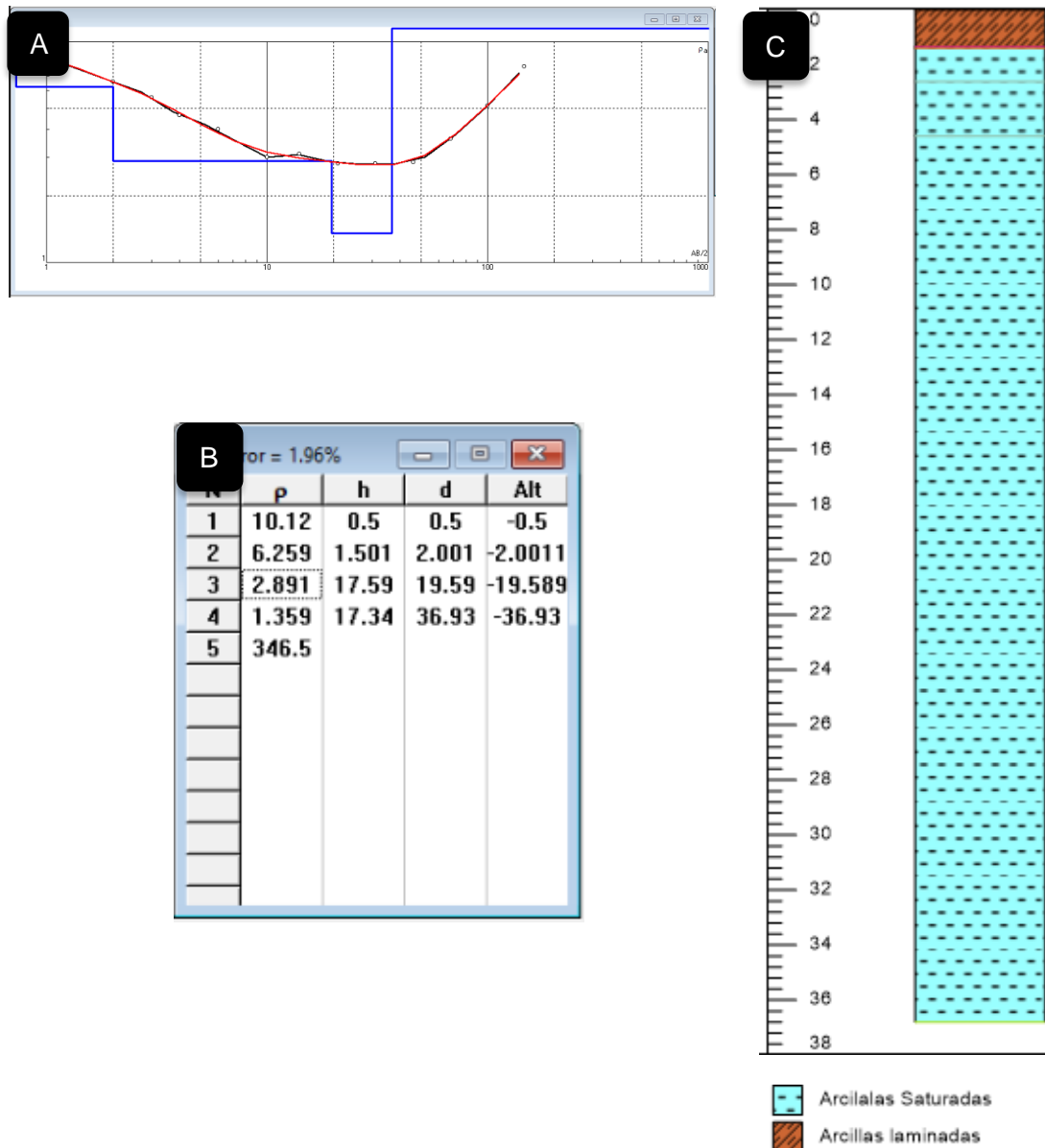
#### **4.4.1 Interpretación geofísica SEV-01**

El sondeo SEV-01, mostró una profundidad máxima de 59,02 m y una resistividad en un rango de 6,25 a 10,12  $\Omega$ m para la primera y segunda capa, valor que corresponde a las arcillas laminadas con un espesor de

aproximadamente 2,50 m, lo que es concordante con el material presente en la superficie. En la tercera capa la resistividad disminuyó a 3  $\Omega$ m, esta resistividad está asociada a arcillas saturadas a una profundidad de 19,59 m. En la cuarta capa, el valor de la resistividad aumenta a 1,35  $\Omega$ m, por lo que se puede interpretar como una posible capa de arcillas saturadas con posible mineralización, a una profundidad aproximada de 36,93 m.

**Tabla 4. 5 Interpretación de la columna geoelectrica del SEV-01.**

<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega</math>m)</b>
1	Arcillas Laminadas	0,50	0,50	10,12
2	Arcilla Laminadas	1,50	2,00	6,25
3	Arcillas Saturadas	17,59	19,59	3,00
4	Arcillas Saturadas con Posible Mineralización	17,34	36,93	1,35



**Figura 4. 7 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica SEV-01.**

#### 4.4.2 Interpretación geofísica SEV-02

La interpretación del sondeo SEV-02 alcanza una profundidad de 61,59 m y una resistividad de 31,1  $\Omega\text{m}$  para la primera capa de investigación, posiblemente correspondiente a un suelo arcilloso – arenoso con un espesor menor a 0,5 m. En la segunda capa el valor en la resistividad es de 220  $\Omega\text{m}$ , correspondiente a la arcilla laminada, a una profundidad de 0,93 m. En la tercera capa la resistividad aumenta a 23,1  $\Omega\text{m}$ , este valor está asociado a arcillas arenosas a una profundidad de 6,8 m. En la cuarta capa, el valor de la resistividad disminuye a un valor de 5,26  $\Omega\text{m}$ , por lo que se puede interpretar

como una posible capa de arcillas laminadas, a una profundidad aproximada de 10,1 m. En la quinta capa se obtuvo una resistividad de 46,8  $\Omega\text{m}$  con una profundidad de 24,5 m, este valor se puede interpretar como un material asociadas a limolitas. Mientras que, en la sexta capa se obtuvo una disminución en la resistividad con un valor de 0,0976  $\Omega\text{m}$  a una profundidad de 61,6 m, el cual se puede interpretar como un material de arcillas saturadas con posible mineralización (Figura 4.8 C).

**Tabla 4. 6 Interpretación de la columna geoelectrica del SEV-02.**

<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
1	Arcillas arenosas	0,50	0,50	31,1
2	Material de relleno	0,43	0,93	220
3	Arcillas arenosas	5,87	6,8	23,1
4	Arcillas laminadas	3,29	10,1	5,26
5	Limolitas	14,4	24,5	46,8
6	Arcillas saturadas con posible mineralización	37,1	61,6	0,09

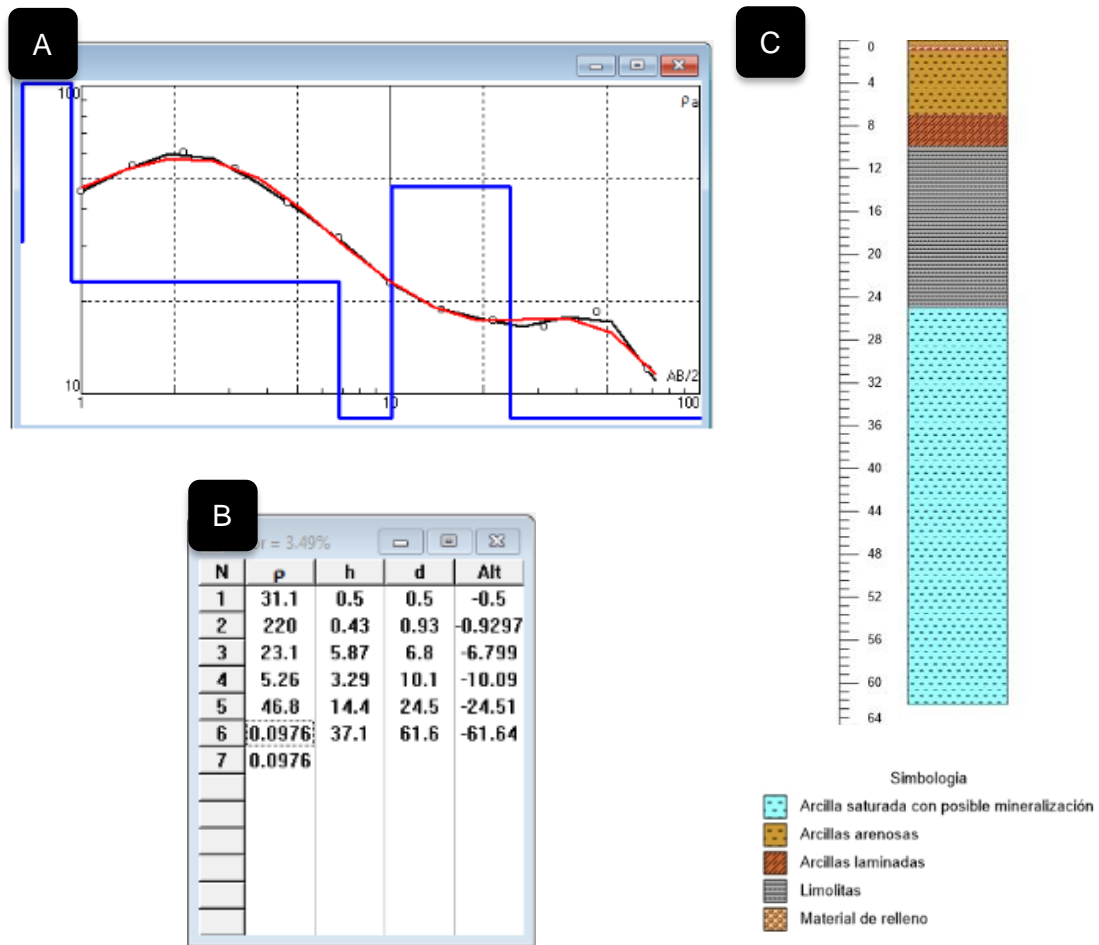
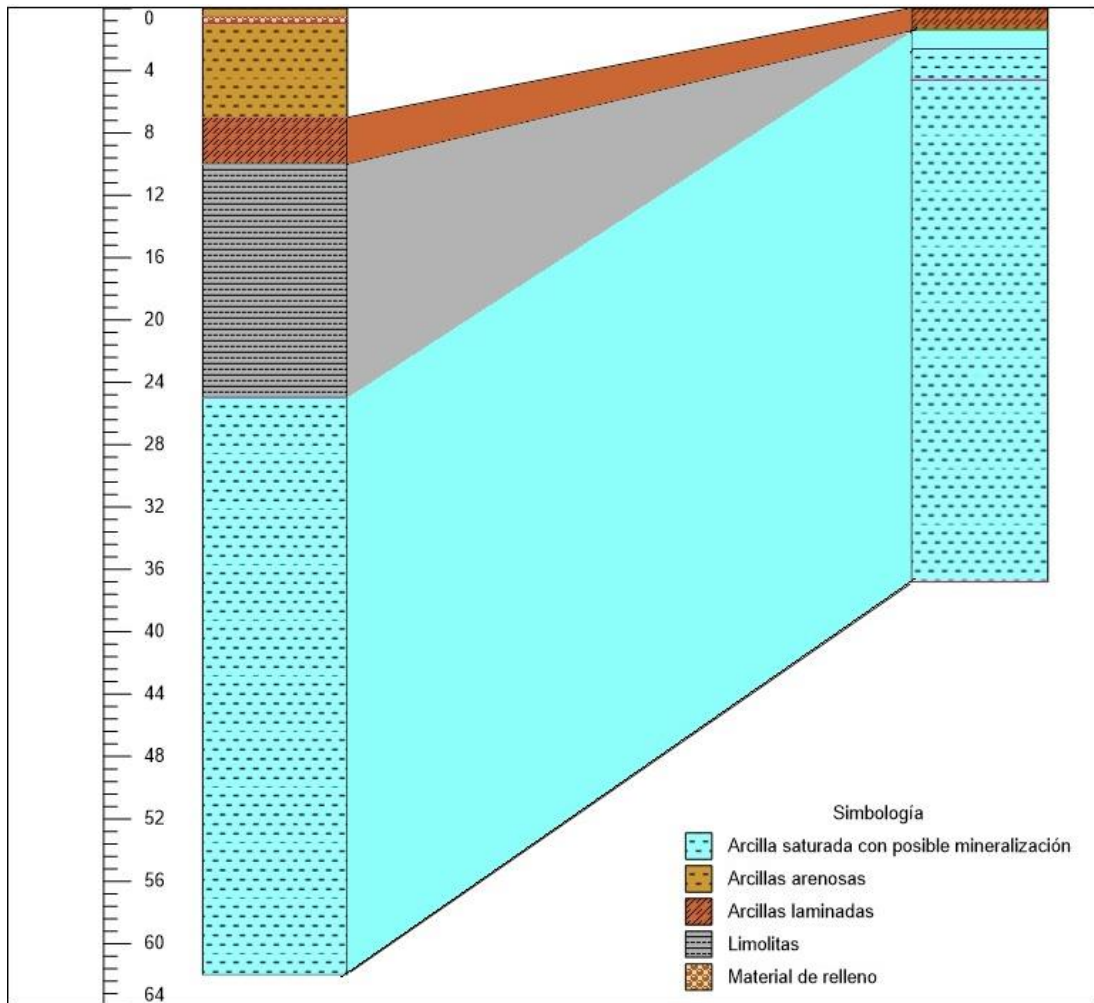


Figura 4. 8 Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica SEV-02.

#### 4.4.3 Correlacion SEV-01 & SEV-02

En la Figura 4.9 se observa la correlación entre las interpretaciones del SEV-01 y SEV-02, donde se asocian entre si capas de arcillas laminadas, limolitas y capas de arcillas saturadas con 36 metros de espesor.



**Figura 4. 9 Correlación de columnas geoelectricas SEV-01 & SEV-02**

En la figura 4.9 se observa la correlación entre las interpretaciones del SEV-01 y SEV-02, donde se asocian entre si capas de arcillas laminadas, limolitas y capas de arcillas saturadas con 36 metros de espesor.

#### **4.4.4 Interpretación electromagnética EM-02**

El sondeo electromagnético alcanza una profundidad aproximada de 122 m, como se observa en la Figura 4.10 B. Se obtuvo una resistividad de 27,8  $\Omega\text{m}$  para la primera capa, correspondiente a un suelo de cultivo quemado compuesto por arcillas arenosas a una profundidad de 1,47 m. En la segunda capa el valor en la resistividad es de 4,64  $\Omega\text{m}$ , lo que puede corresponder a arcillas saturadas con una profundidad de 21,2 m. En la tercera capa la resistividad aumenta a un valor de 13,8  $\Omega\text{m}$ , esta resistividad está asociada a la presencia arcillas arenosas que se encuentran a una profundidad de 97,4 m.

En la cuarta capa, el valor de la resistividad disminuye a un valor de 8,24  $\Omega\text{m}$ , por lo que se puede interpretar como una posible capa de arcillas laminadas. En la quinta y última capa se obtuvo una resistividad de 3,08  $\Omega\text{m}$  y se lo asocia con arcillas saturadas. (Tabla 4.8)

**Tabla 4. 7 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-02**

<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
1	Suelo arcillo arenoso	1,47	27,8
2	Arcillas saturadas	21,2	4,64
3	Arcillas arenosas	97,4	13,8
4	Arcillas laminadas	122	8,84
5	Arcillas saturadas		3,08



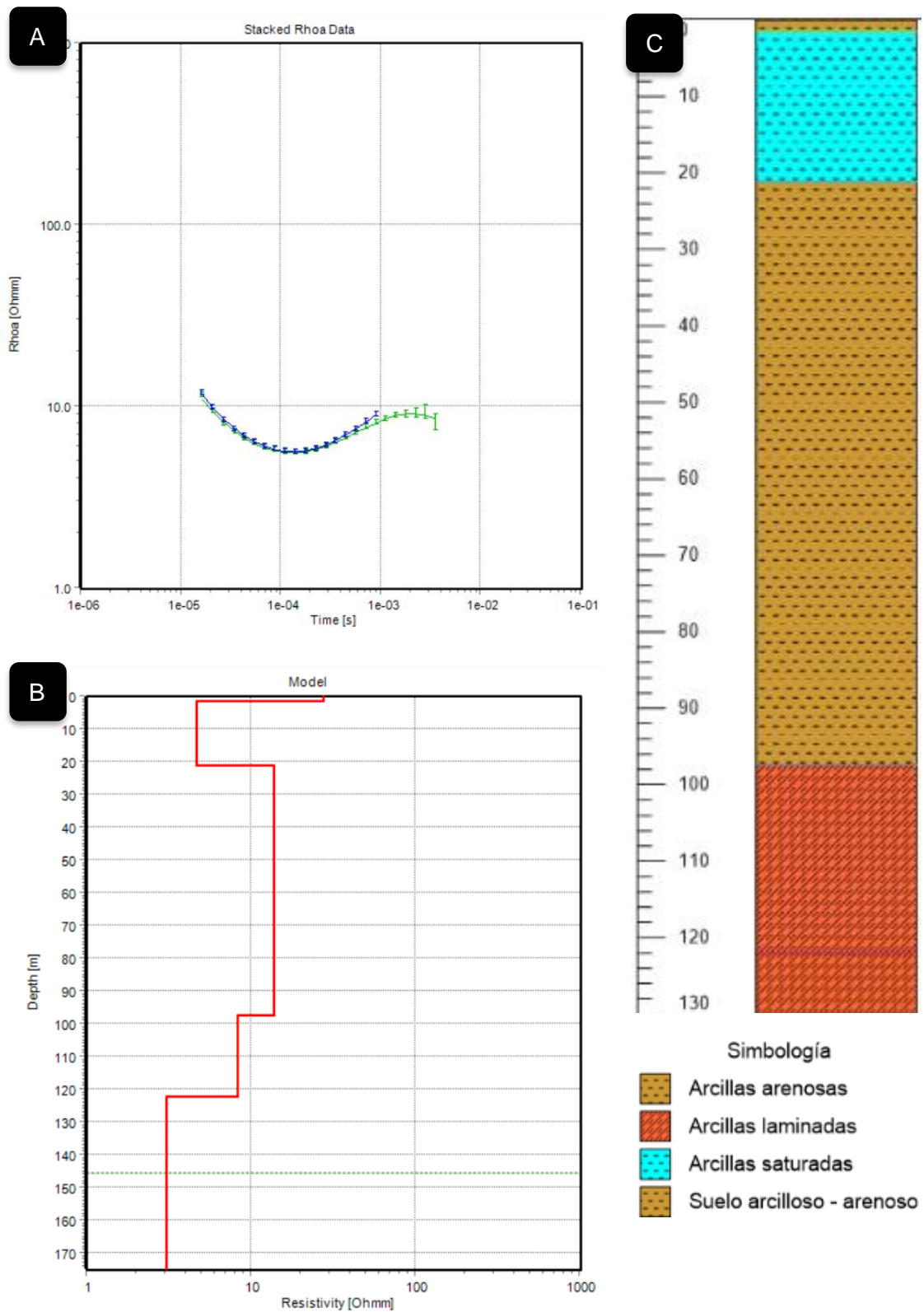


Figura 4.10 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-02.

#### 4.4.5 Interpretación electromagnética EM-05

Para la distribución de las capas de resistividad del subsuelo, que se muestra en la Tabla 4.9 muestra según la topografía proporcionada por las mediciones electromagnéticas. EM-05 alcanzó una profundidad de aproximadamente 81,2 m y se encontró en la primera capa, un espesor de 4,19 m y con resistividad de 49,6  $\Omega$ m, valor que puede estar relacionado con la limolita.

La profundidad alcanzada en la segunda capa es de 6,67m y se registró una resistividad de 19,2  $\Omega$ m, interpretando un material arcillo arenoso. La tercera capa tiene una resistividad de 5,65  $\Omega$ m, asociada a un material arcilloso saturado a una profundidad de 28,5 m. En la cuarta capa, se obtuvo un valor de resistividad es de 13,6  $\Omega$ m, posiblemente relacionado con la misma arcilla arenosa a una profundidad de 81,2 m. En la quinta y última capa se registró una resistividad de 3,37  $\Omega$ m, lo que se interpreta como material arcilloso estratificado.

**Tabla 4. 8 Tabla de interpretación de geoelectrica del EM-05**

<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega</math>m)</b>
1	Limolitas	4,19	49,6
2	Arcillas arenosas	6,67	19,2
3	Arcillas saturadas	28,5	5,65
4	Arcillas arenosas	81,2	13,6
5	Arcillas laminadas		10,7

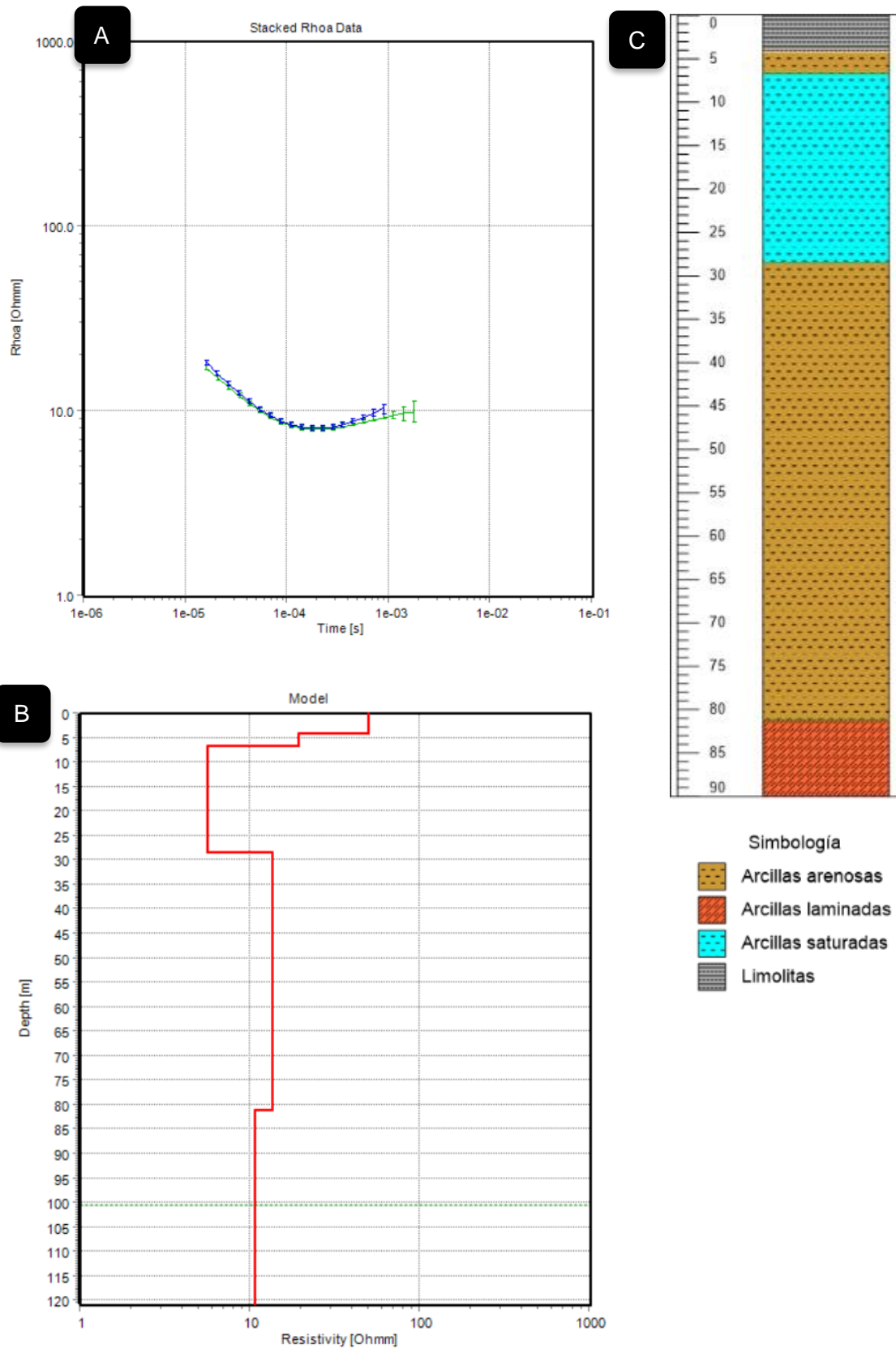
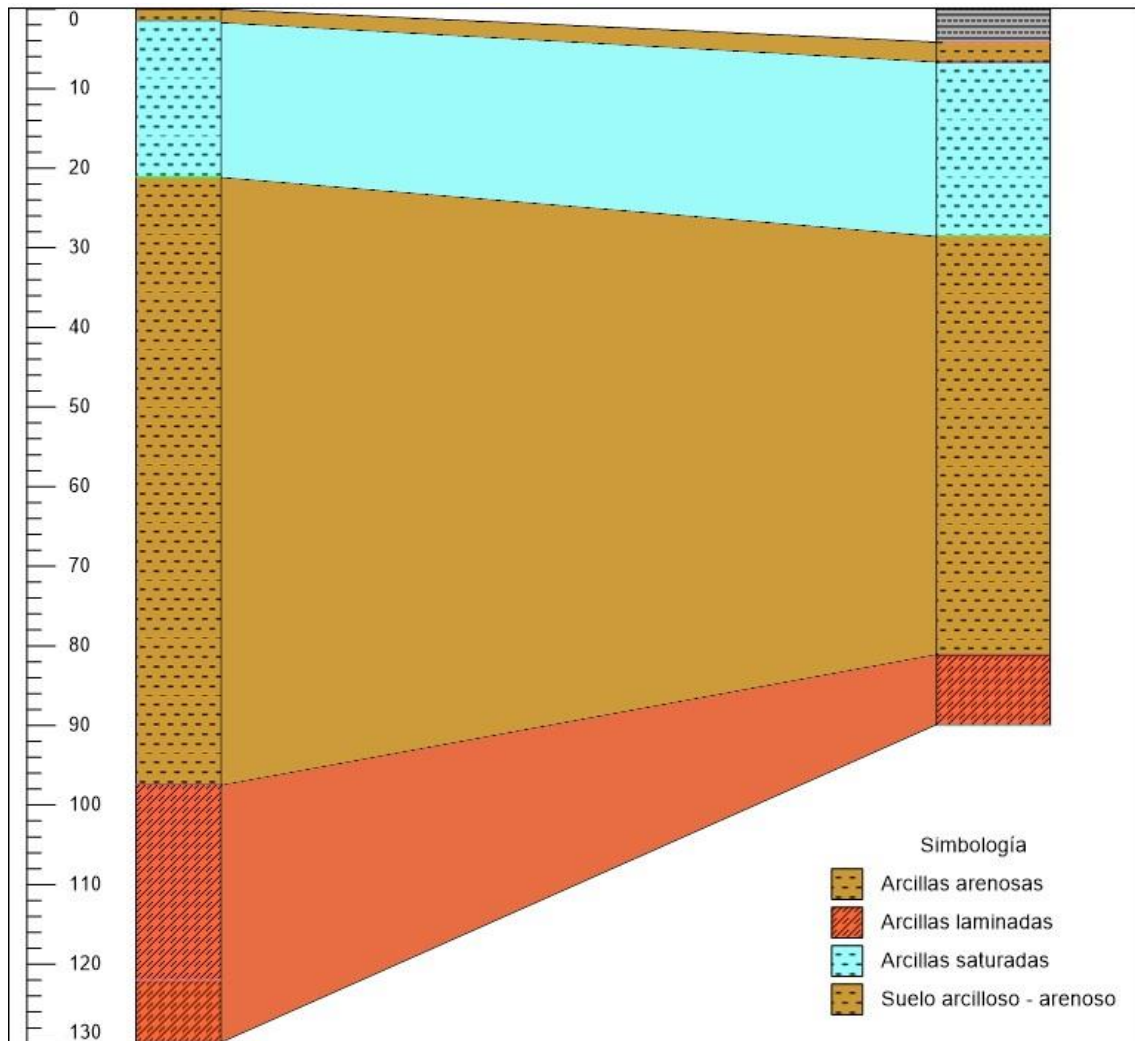


Figura 4.11 Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-05.

#### 4.4.6 Correlación EM-02 y EM-05



**Figura 4. 12 Correlación EM-02 & EM-05**

En la Figura 4.12 podemos observar que existe una correlación entre las columnas geoelectricas EM-02 y EM-05, en donde están asociadas las capas litológicas de arcillas arenosas, arcillas saturadas y arcillas laminadas.

#### 4.4.7 Interpretación electromagnética EM-01

La interpretación del siguiente sondeo electromagnético alcanza una profundidad de 89 m. Se obtuvo una resistividad de 16,4  $\Omega$ m para la primera capa, posiblemente correspondiente a arcillas arenosas a una profundidad de 5,32 m. En la segunda capa el valor en la resistividad es de 4,25  $\Omega$ m, lo que puede corresponder a arcillas saturadas con una profundidad de 18,4 m. En la tercera capa la resistividad disminuye a un valor de 2,27  $\Omega$ m, esta resistividad

está asociada posiblemente a presencia de agua que se encuentra a una profundidad de 65,5 m. En la cuarta capa, el valor de la resistividad aumenta a un valor de 3,6  $\Omega$ m, por lo que se puede interpretar como una posible capa de arcillas saturadas.

**Tabla 4. 9 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-01**

<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega</math>m)</b>
1	Arcillas arenosas	5,32	16,4
2	Arcillas saturadas	18,4	4,25
3	Arcillas Saturadas	65,5	2,27
4	Posible presencia de agua		1,35

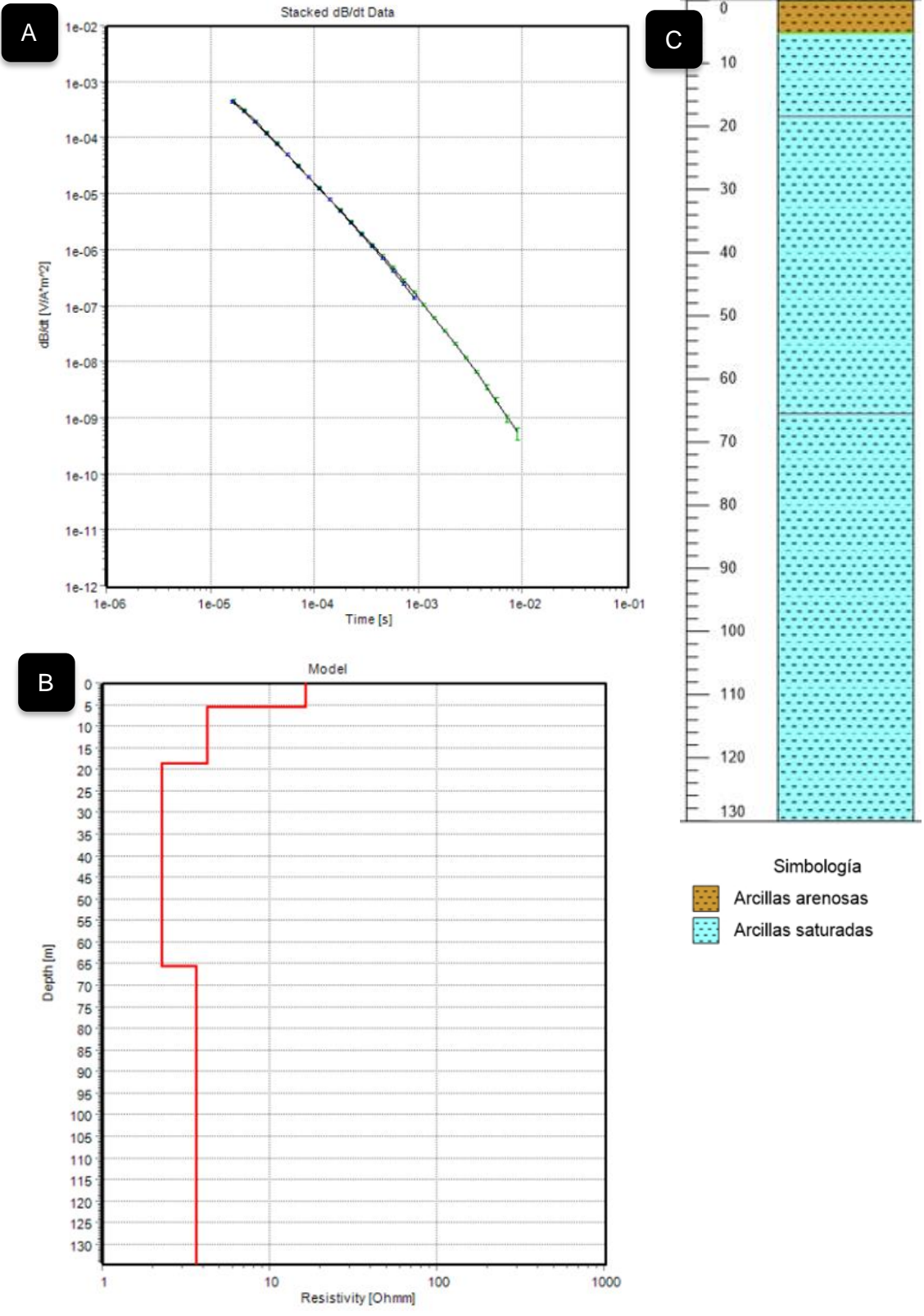


Figura 4. 13 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-01.

#### 4.4.8 Interpretación electromagnética EM-09

En la siguiente interpretación del sondeo electromagnético (Tabla 4.14). Se obtuvo una resistividad de 7,67  $\Omega\text{m}$  para la primera capa, posiblemente correspondiente a arcillas laminadas a una profundidad de 5,53 m. En la segunda, tercera y cuarta capa se obtuvieron valores de resistividad en un rango de 2,44 a 3,96  $\Omega\text{m}$ , lo que se puede interpretar como un material arcilloso saturado, alcanzando una profundidad de 110 m. (Figura 4.14C), con un espesor aparente de 90,3 m.

**Tabla 4. 10 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-09**

<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
1	Arcillas	5.53	7.67
2	Arcillas saturadas	42	2.44
3	Arcillas saturadas	95.8	3.34
4	Arcillas saturadas		3.96



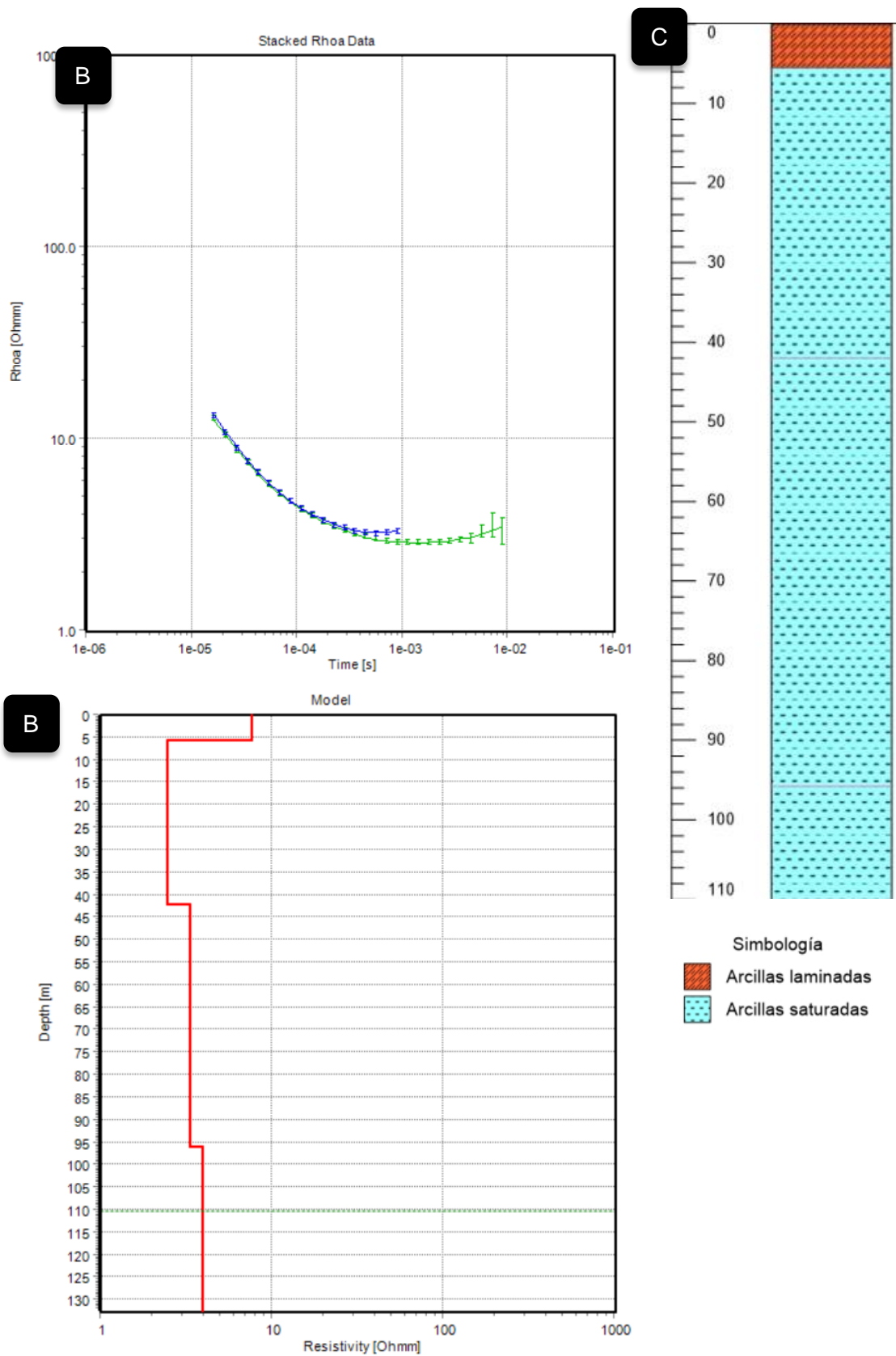


Figura 4. 14 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-09.



#### 4.4.9 Correlación EM-01 Y EM-09

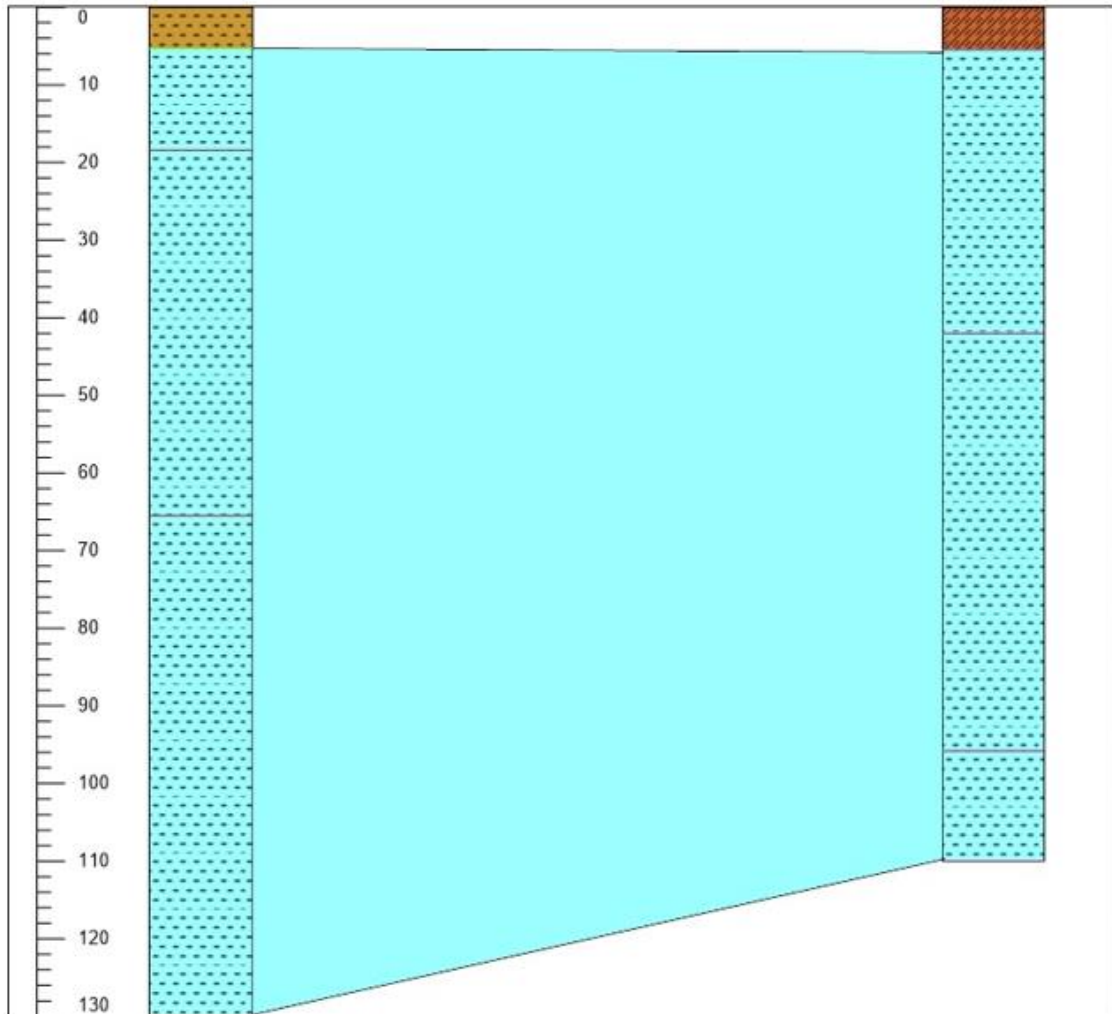


Figura 4. 15 Correlación de columnas geoelectricas EM-01 y EM-09.

#### 4.5 Parámetros físicos-químicos de pozos

En la zona de estudio se registraron 14 pozos, y se distribuyen de la siguiente manera: 5 pozos en el recinto San Juan, 2 en el recinto Simón Bolívar y 6 en el recinto San Pablo (Figura 4.16). Se le asignó una codificación a cada pozo, además se agregó información de ubicación, profundidad y estado (activo, inactivo) de cada uno de ellos (Tabla 4.11).

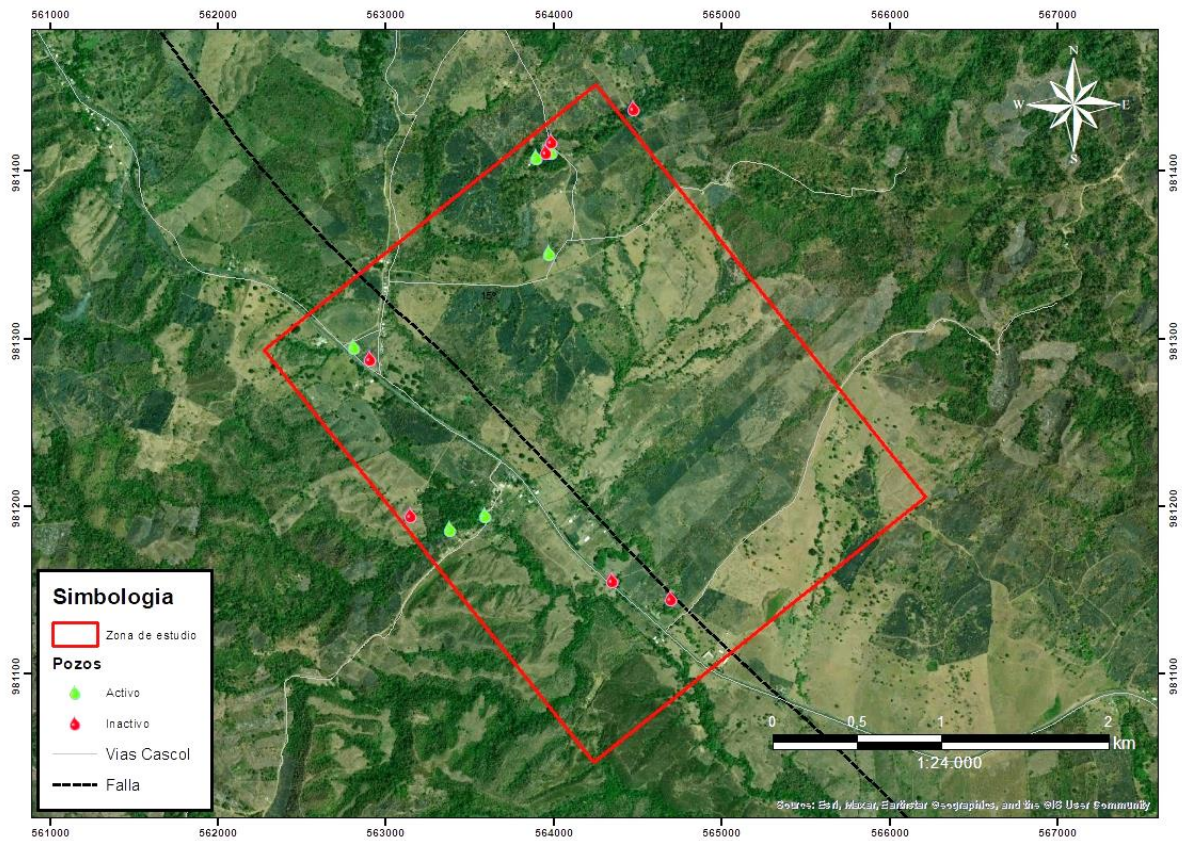


Figura 4. 16 Mapa de ubicación de pozos

PUNTOS	COORDENADAS			DETALLES	
	X	Y	Z	PROFUNDIDAD (m)	ESTADO
PSJ01	563593	9811945	219	12,05	Activo
PSJ02	564445	9811597	208	9,88	Inactivo
PSJ03	563382	9811866	238	3,52	Activo
PSJ04	563280	9812175	226	4,02	Inactivo
PSJ05	563557	9811923	219	8,12	Activo
PSJ05	563151	9811950	243	8,49	Inactivo
PSB01	562810	9812955	232	9,65	Activo
PSB02	562909	9812884	230	7,45	Inactivo
PSP01	564479	9814375	743	9,56	Inactivo
PSP02	563987	9814115	743	9,26	Activo
PSP03	563987	9814176	743	8,43	Inactivo
PSP04	563956	9814115	743	50,3	Inactivo
PSP05	563895	9814084	743	5,69	Activo
PSP06	563973	9813514	741	13,15	Activo

Tabla 4. 11 Inventario de pozos

#### 4.5.1 Medición de parámetros físico-químicos

En la Tabla 4.12, se observan los resultados obtenidos en la toma de mediciones de los parámetros físico-químicos del agua de cada uno de los pozos. En los pozos situados en el recinto San Juan (PSJ01 a PSJ04) se registraron valores de TDS en un rango de 298 a 362 ppm, y valores de salinidad teniendo como parámetro más bajo de la zona el valor del pozo PSJ01, con un valor de 288,4 ppm. Los valores que se obtuvieron como resultado, indican que el agua de esta zona está dentro de los parámetros permitidos y el cual podría indicar que es un agua de buena calidad.

Los pozos registrados en el recinto Simón Bolívar (PSB01 y PSB02) se obtuvieron valores de TDS 1.365 y 1.492 ppt respectivamente, también se registró los parámetros de salinidad de 1.518 ppt para el pozo PSB01 Y 2.105 ppt para el pozo PSB02. Estos valores indican la presencia de un agua muy salobre y con un alto contenido de solidos disueltos en los pozos.

Para los registros de pozos en el recinto San Pablo se obtuvieron los siguientes resultados: Los pozos PSP01, PSP02, PSP04, PSP05, se registraron valores de TDS en un rango de 324,3 a 393,6 ppm, y para valores de salinidad se obtuvieron valores en un rango de 316,1 a 387 ppm. Estos valores indican la presencia de agua que cumple las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Para los pozos PSP03, PSP06, PSP07, se registraron valores de TDS en un rango de 706 ppm a 1.996 ppt y valores de salinidad de 720 ppm a 2.105 ppt. Estos valores indican un alto contenido de salinidad y TDS, considerada según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) (TULSMA, 2017), como agua salobre, que son aguas con TDS mayores a 500 mg/l.

**Tabla 4. 12 Medición de parámetros físico-químicos**

POZO	COORDENADAS			PARÁMETROS FÍSICOS - QUÍMICOS						
	X	Y	Z	RES.	TEMP.	COND.	TDS	SAL.	NIVEL FREATICO	PROF.
PSP01	564479	9814375	743	1.334 kΩm	24,9 °C	283,6 μs/cm	373,7 ppm	371,5 ppm	5,61 m	9,56 m
PSP02	563987	9814115	743	1.272 kΩm	26,2 °C	297,9 μs/cm	393,6 ppm	387 ppm	6,75 m	9,26 m

POZO	COORDENADAS			PARÁMETROS FÍSICOS - QUÍMICOS						
	X	Y	Z	RES.	TEMP.	COND.	TDS	SAL.	NIVEL FREÁTICO	PROF.
PSP03	563987	9814176	743	706,8 Ωm	25,8 °C	536,2 μs/cm	706 ppm	720,9 ppm	4,8 m	8,40 m
PSP04	563956	9814115	743	1.545 kΩm	26,0 °C	245,7 μs/cm	324,3 ppm	316,1 ppm	4,65 m	50,3 m
PSP05	563895	9814084	743	1.360 kΩm	26,4 °C	279,1 μs/cm	368,6 ppm	363,3 ppm	4,98 m	5,69 m
PSP06	563973	9813514	741	344,9 Ωm	25,7 °C	1.099 μs/cm	1446 ppm	1536 ppm	4,87 m	13,15 m
PSP07	564433	9813217	730	254,7 Ωm	24,8 °C	1.494 μs/cm	1996 ppm	2105 ppm	3,52 m	20,5 m
PSB01	562796	9812947	230	342,2 Ωm	24,1 °C	1.105 μs/cm	1365 ppm	1518 ppm	4,6 m	7,45 m
PSB02	562909	9812883	237	335,8 Ωm	27,1 °C	1.130 μs/cm	1492 ppm	1555 ppm	4,36 m	10,12 m
PSJ01	563372	9811864	227	1.656 Ωm	23,4 °C	224,9 μs/cm	298 ppm	288,4 ppm	0,95 m	3,5 m
PSJ02	563586	9811933	219	1.540 Ωm	26,2 °C	246,2 μs/cm	325,3 ppm	316,4 ppm	3,7 m	6,35 m
PSJ03	563557	9811923	222	1.523 kΩm	25,2 °C	248,3 μs/cm	328,2 ppm	321,6 ppm	2,75 m	8,25 m
PSJ04	564366	9811543	208	1.381 KΩm	25,6 °C	274,5 μs/cm	362 ppm	357,9 ppm	9.24 m	12,5 m

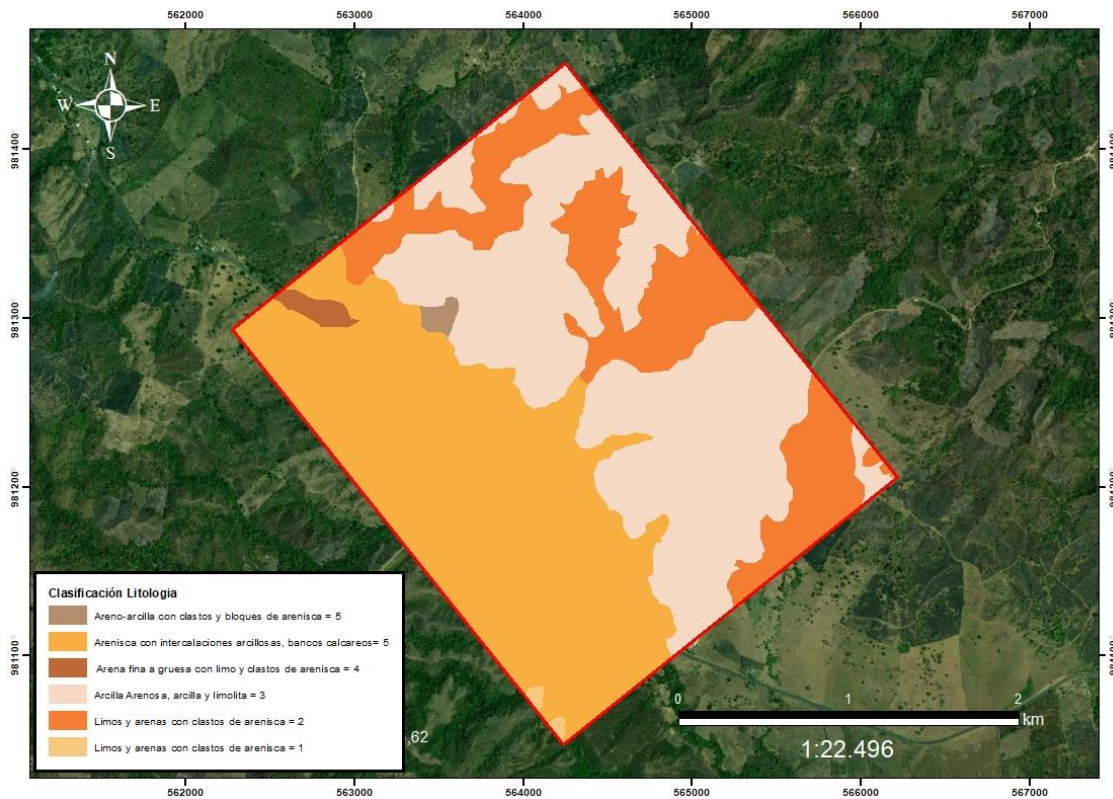
## 4.6 Algebra de mapas

### 4.6.1 Mapa litológico

En el Anexo 30 se puede observar las diferentes litologías que se localizaron en la zona de estudio, de acuerdo con estos criterios se realizó una clasificación litológica en base a la importancia y característica de cada una de ellas. En la Figura 4.17 se puede ver la clasificación que se utilizó, siendo la más importante las areno-arcillas y bloques de arenisca con una valoración de 5, con una valoración de 4 se tiene las areniscas con intercalaciones arcillosas, con una valoración de 3 las arenas finas a gruesas con limo, luego se tiene las arcillas



arenosas, arcillas y limos con una valoración de 2, por último, con una valoración de 1, las arenas limosas.

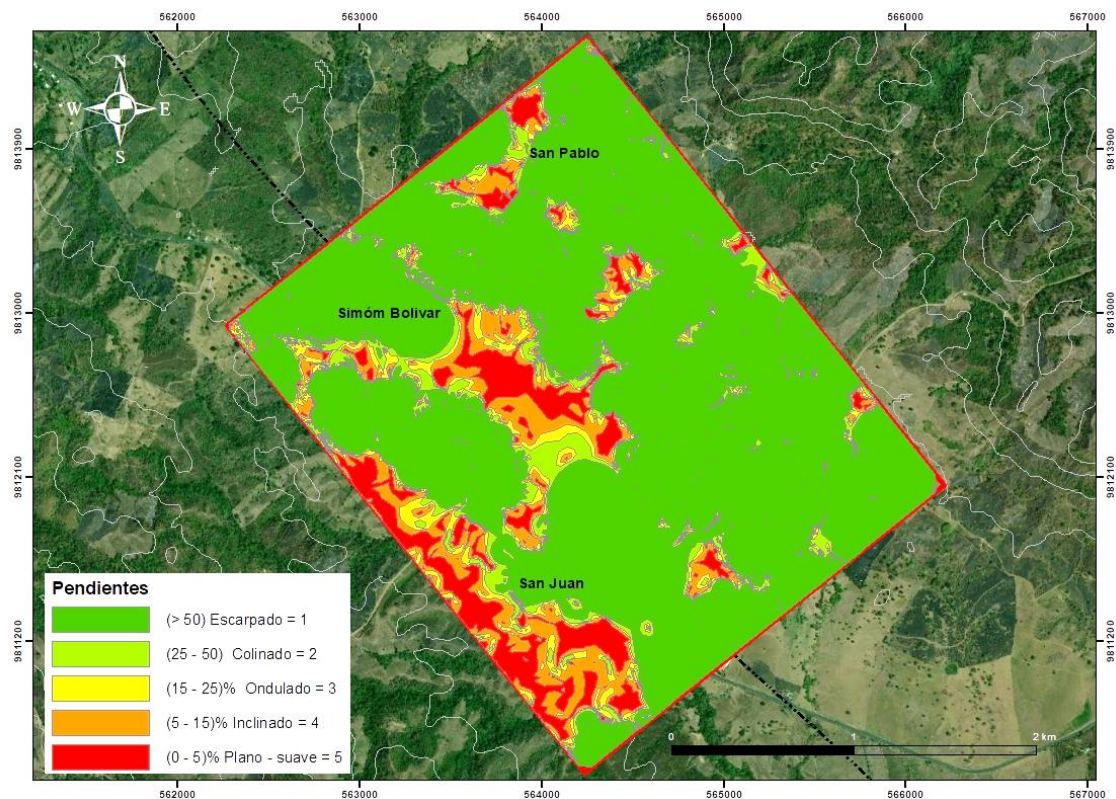


**Figura 4. 17 Mapa litológico reclasificado**

#### 4.6.2 Mapa de pendientes

De acuerdo con los criterios de clasificación la Tabla 3.3 se realizó la valoración de pendientes de la Figura 4.18, teniendo como máxima valoración de 5, las zonas planas con un porcentaje de pendiente del 0 al 5%, Las zonas con mayor inclinación del 5 al 15% tiene una valoración de 4. Para los terrenos ondulados con pendientes del 15 al 25%, obtuvo una valoración de 3, mientras que, para las zonas colinadas con pendientes de 25 al 50% tiene una valoración de 2. Por

último, la valoración de 1 corresponde a las zonas escarpadas y montañosas con pendientes mayores al 50%.



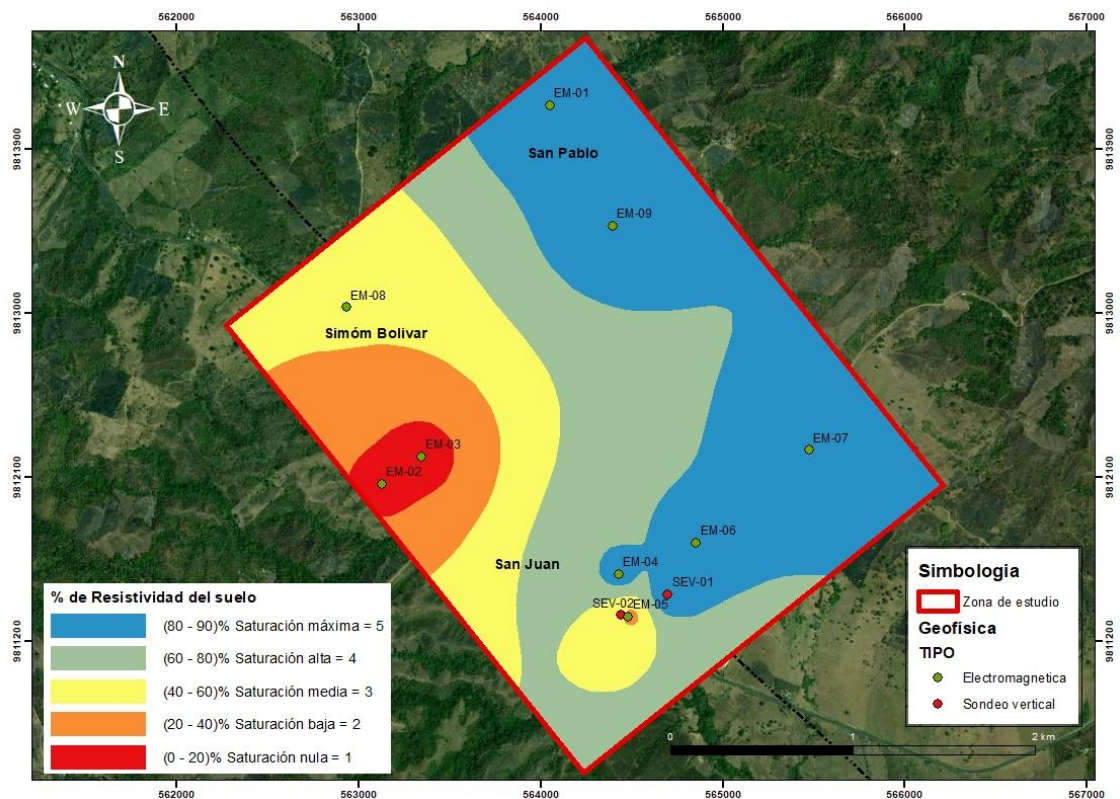
**Figura 4. 18 Mapa de porcentaje de pendientes reclasificado**

#### **4.6.3 Mapa de sondeos eléctricos verticales y electromagnéticos**

De acuerdo con los criterios de clasificación la Tabla 3.5 se realizó la valoración de resistividad del suelo, tomando como parámetro la saturación del suelo, que como resultado la Figura 4.19, se obtuvo como máxima valoración de 5, las zonas con saturación máxima del 80 al 90%, Las zonas con saturación alta con rangos del 60 a 80% tiene una valoración de 4. Para las zonas con saturación media se obtuvo un rango 40 al 60%, con una valoración de 3, mientras que, para las zonas con saturación baja con rangos de 20 al 40%, se tiene una



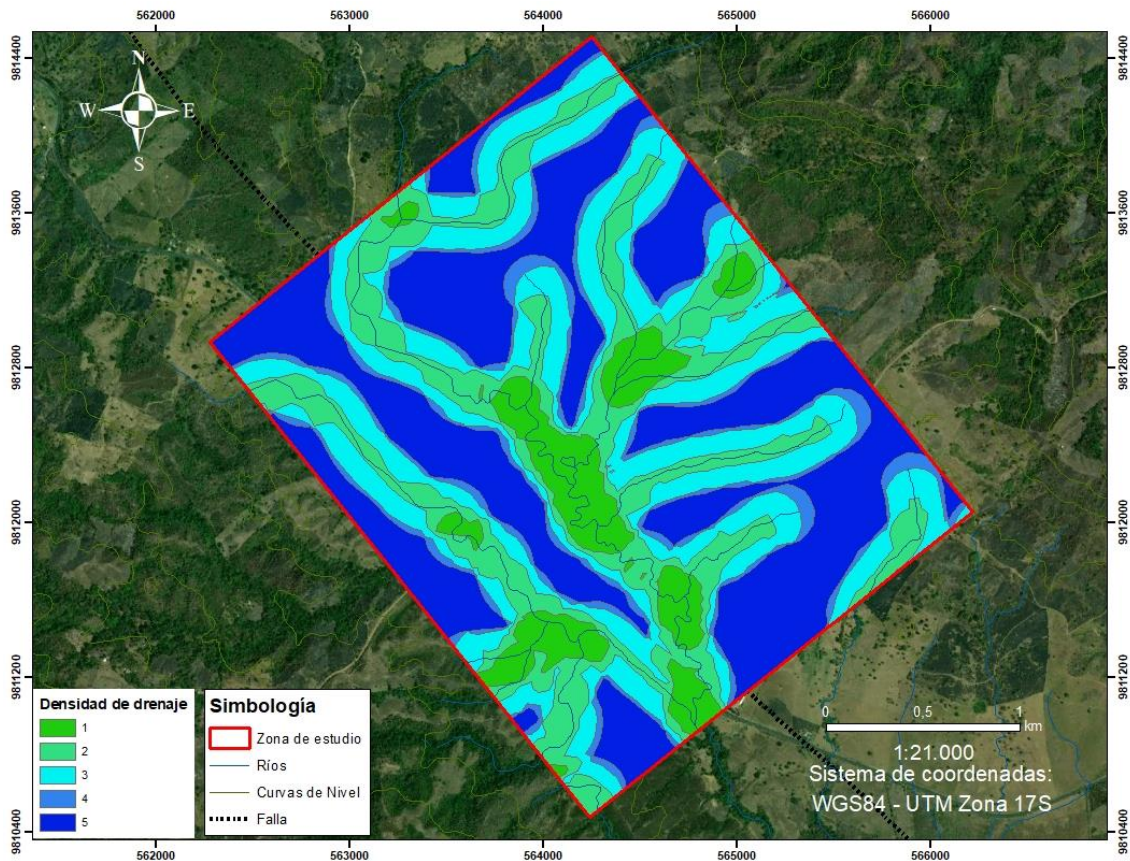
valoración de 2. Por último, la valoración de 1 corresponde a las zonas nula o muy baja saturación con rango de 0 a 20%.



**Figura 4. 19 Mapa de SEV's y EM's reclasificados**

#### 4.6.4 Mapa de densidad de drenaje

De acuerdo al criterio de clasificación de la Tabla 3.4, se obtuvo una valoración por densidad de drenaje siendo 5 la valoración más alta con densidades menores a 1 km/km<sup>2</sup> que se consideran densidades muy bajas, para densidades bajas con rango de 1 a 2 km/km<sup>2</sup> se obtuvo una valoración de 4, para densidades moderadas con rango de 2 a 4 km/km<sup>2</sup> se consideró una valoración de 3, en las densidades altas con unidades de 4 a 6 km/km<sup>2</sup> la valoración obtenida es de 2, para las densidades mayores a 6, consideradas muy altas se obtuvo una valoración de 6. (Figura 4.20)



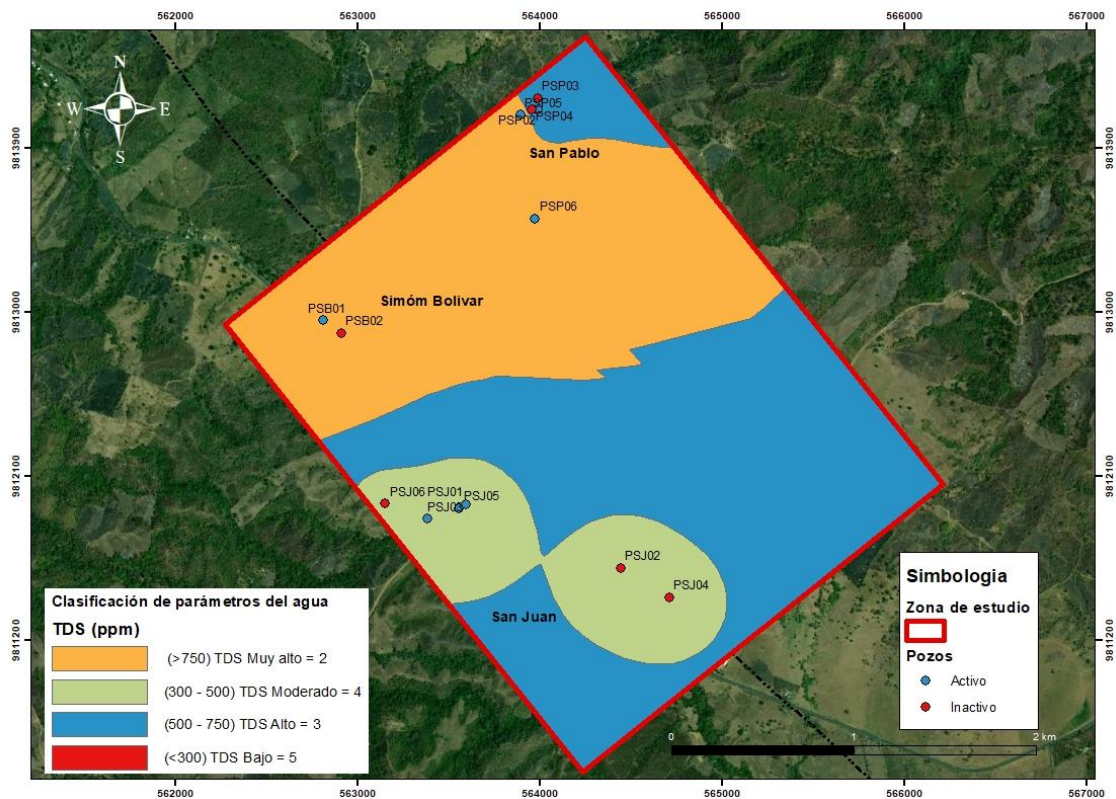
**Figura 4. 20 Mapa de densidad de drenaje reclasificado**

#### **4.6.5 Mapas de parámetros físico – químico de pozos**

Para la clasificación de los parámetros físico-químicos de la Figura 4.21 se tomó en consideración las normativas de calidad del agua TULSMA. Se obtuvo una valoración de 5 para los TDS menores a 300 ppm, que se considera un parámetro bajo. Para los TDS que se encuentran en un rango de 300 a 500 ppm, se consideró una valoración de 4. Para los TDS de concentración alta con rangos



de 500 a 750 ppm, se consideró una valoración de 3. Por último, para los TDS con concentración muy alta mayores a 750 ppm, se le dio una valoración de 2.



**Figura 4. 21 Mapas de parámetros físico-químico de pozos con valoración**

#### 4.6.6 Mapa de zonificación con Potencial de Aguas Subterráneas

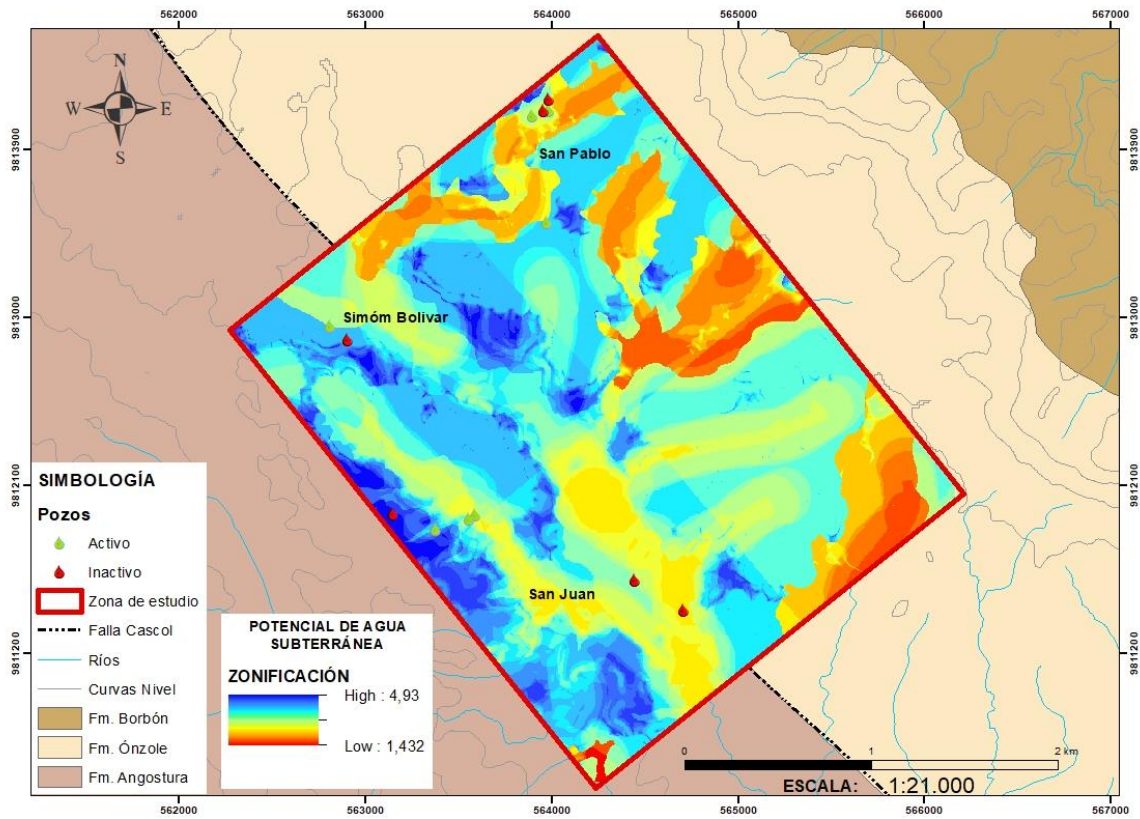
En la Figura 4.22 se observa el mapa de zonas con potencial de aguas subterráneas, donde se evidencia un dominio de las tonalidades azuladas que indican un potencial alto, mientras las tonalidades naranjas indican un potencial bajo.

Las zonas que presentan tonalidades azuladas correspondientes al recinto San Juan, se localizan en la parte baja de la zona de estudio. Al correlacionar la litología con la geofísica se pudo evidenciar, la calidad y salinidad de agua de los pozos y su densidad de drenaje, se explica de una mejor manera, el por qué en estas zonas se da una mayor infiltración y transporte de agua. Este sector presenta características ideales para la captación de agua subterránea, ya sea por la presencia de rocas de arenisca con presencia de material calcáreo, las cuales posee una alta porosidad y permite el transporte de este recurso hídrico

con mayor facilidad desde la superficie hasta niveles subterráneos, ayudando a recargar los pozos del sector.

Las zonas que presentan tonalidades rojizas se ubican dentro de un plano ondulado a montañoso (50 - 70% de pendiente). Mientras que las tonalidades amarillas pertenecen a los cauces de los ríos y esteros pertenecientes a los recintos San Juan, Simón Bolívar y San Pablo. Estos sectores se caracterizan por presentar una densidad de drenaje alta, lo que permite una escorrentía superficial mayor. En base a las interpretaciones de la geofísica aplicada en el sector San Juan, el lugar donde se encuentra posiblemente la mayor cantidad de capas saturadas de material arcilloso pertenecientes a la Fm. Onzole.

Las tonalidades celestes a turquesa se ubican en los recintos Simón Bolívar, San Pablo y parte de las zonas onduladas de San Juan. El sector Simón Bolívar se caracteriza por presentar una densidad de drenaje moderada por sus bajas pendientes plano - inclinado (5 -15% de pendiente), lo que permite una mayor infiltración del agua superficial en el suelo. En base a las interpretaciones de los sondeos geofísicos realizados en el sector se encuentran capas saturadas de arcillas y posiblemente se encuentre agua en las capas antes mencionadas. En el recinto San Pablo se encuentran gran parte de los pozos registrados, de los cuales muchos de ellos poseen una calidad de agua que se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el TULSMA. Este sector al estar en una zona de alto relieve, se ubica de pendientes colinadas a escarpadas (50 - 70%), su densidad de drenaje es alta, lo que permite que la escorrentía superficial sea muy alta. En base a estos datos de relieve y drenaje, correlacionando con la geofísica realizada en el sector, se pudo interpretar que existe la presencia de agua, en las fracturas de los materiales lo que permite una acumulación y reserva de agua en el subsuelo.



**Figura 4. 22 Mapa de Zonificación de Áreas con Potencial de Aguas Subterráneas.**

# CAPÍTULO 5

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- El balance hídrico de la zona de estudio perteneciente al recinto San Juan y San Pablo, se realizó para un periodo de 1993 – 2013, donde se obtuvo como resultado una precipitación anual de 2018.2 mm, y evapotranspiración potencial de 1680.2 mm. Estos valores indican la existencia de una reserva de 338 mm que se almacena en las capas del suelo durante el periodo de transición invierno a verano.
- Se registraron 14 pozos de agua en el área de estudio, de los cuales 7 se encuentran en estado activo y los otros en estado inactivo. Los parámetros físico-químicos del agua que se analizaron en los pozos de los recintos Simón Bolívar y San Pablo indicaron un alto contenido de TDS en los pozos, obteniendo un rango de 316.1 ppm a 1996 ppm. Mientras que los pozos de San Juan se obtuvieron parámetros de TDS moderados con rango de 288.4 a 357.9 ppm.
- El recinto San Pablo presenta capas de arcillas saturadas con un promedio aproximado de 120 m de espesor, por lo que se debe considerar la construcción de albarradas cerca de estas zonas para que ayuden a mejorar la recarga de los pozos cercanos al sector.
- En el recinto San Juan, presenta condiciones ideales para almacenar y transmitir agua del subsuelo, la litología del sector permite una buena permeabilidad entre sus capas. Este sector presenta pendientes bajas la cual permite que la densidad de drenaje del cauce de los ríos sea baja y exista una mayor infiltración en el suelo.

## 5.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio geoquímico del agua, para poder identificar los elementos mayoritarios que influyen en la variación de la salinidad y los TDS en los pozos.
- Se recomienda realizar pruebas de bombeo a los pozos para determinar el caudal de extracción y determinar de forma más precisa si es rentable su explotación en beneficio de la comunidad.
- Efectuar el mantenimiento semestral de los pozos del agua y monitoreo mensual de los parámetros físico-químicos para que la calidad de agua de los pozos sea la adecuada para su consumo.
- Se recomienda establecer lineamientos de usos y de gestión sostenible del manejo adecuado de los recursos hídricos, que permita explotar de forma moderada este recurso y sea en beneficio a las poblaciones del sector.
- Se deben considerar límites de perforación para la construcción de pozos, para el sector de San Pablo y San Juan. Teniendo en cuenta la profundidad y espesor de las capas saturadas es recomendable hacer perforaciones mayores a 100 metros de profundidad.

# Referencias

- Alarcón Cervantes, V. H. (2016). *Identificación de la estructura acuífera en la Zona de Pampas "La Estrella" mediante sondajes eléctricos verticales, Distrito de Uchumayo, Provincia de Arequipa.*
- Álvarez, S. G. (2004). Cantón Paján Provincia de Manabí. *Comunas y Comunidades Con Sistemas de Albarradas: Descripciones Etnográficas*, 413.
- Auge, M. (2008). Métodos geoelectricos para la prospección de agua subterránea. *Universidad de Buenos Aires*, 30.
- Benítez, S. (1995). Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire. *Geologie Alpine*, 3–163.
- Bristow, C., & Hoffstetter, R. (1977a). *Lexique Stratigraphique International.*
- Bristow, C., & Hoffstetter, R. (1977b). *Lexique Stratigraphique International.*
- Brundtland, G. H. (1987). Our common future—Call for action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291–294.
- Carrión-Mero, P., Briones-Bitar, J., & Macías-Nuñez, E. (2020). *Technical Alternatives Analysis for Water Supply in the Rural Parish of Limonal, Ecuador.* 183–195. <https://doi.org/10.2495/SDP200151>
- Carrión-Mero, P., Montalván-Burbano, N., Herrera-Franco, G., Domínguez-Granda, L., Bravo-Montero, Lady, & Morante-Carballo, F. (2022). Research Trends in Groundwater and Stable Isotopes. *Water*, 14(19), 3173. <https://doi.org/10.3390/w14193173>
- Carrión-Mero, P., Montalván, F. J., Morante-Carballo, F., Heredia, J., Elorza, F. J., Solórzano, J., & Aguilera, H. (2021). Hydrochemical and Isotopic Characterization of the Waters of the Manglaralto River Basin (Ecuador) to

Contribute to the Management of the Coastal Aquifer. *Water*, 13(4), 537.  
<https://doi.org/10.3390/w13040537>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Herrera-Borja, P., Chávez-Moncayo, M., & Arévalo-Ochoa, J. (2021). Design of a Technical-Artisanal Dike for Surface Water Storage and Artificial Recharge of the Manglaralto Coastal Aquifer. Santa Elena Parish, Ecuador. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(3), 515–523.  
<https://doi.org/10.18280/ijstdp.160312>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Herrera-Franco, G., Jaya-Montalvo, M., Rodríguez, D., Loor-Flores de Valgas, C., & Berrezueta, E. (2021). Community-University Partnership in Water Education and Linkage Process. Study Case: Manglaralto, Santa Elena, Ecuador. *Water*, 13(15), 1998.  
<https://doi.org/10.3390/w13151998>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Vargas-Ormaza, V., Apolo-Masache, B., & Jaya-Montalvo, M. (2021a). A Conceptual Socio-Hydrogeological Model Applied to Sustainable Water Management. Case Study of the Valdivia River Basin, Southwestern Ecuador. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(7), 1275–1285.  
<https://doi.org/10.18280/ijstdp.160708>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Vargas-Ormaza, V., Apolo-Masache, B., & Jaya-Montalvo, M. (2021b). A Conceptual Socio-Hydrogeological Model Applied to Sustainable Water Management. Case Study of the Valdivia River Basin, Southwestern Ecuador. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(7), 1275–1285.  
<https://doi.org/10.18280/ijstdp.160708>

Carrión-Mero, P., Quiñonez-Barzola, X., Morante-Carballo, F., Montalván, F. J., Herrera-Franco, G., & Plaza-Úbeda, J. (2021). Geometric Model of a Coastal Aquifer to Promote the Sustainable Use of Water. Manglaralto, Ecuador. *Water*, 13(7), 923. <https://doi.org/10.3390/w13070923>

- Cueva Mogrovejo, F. E. (2018). *Gestión comunitaria de los servicios de agua potable y saneamiento en la parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone, provincia de Manabí*. PUCE.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1996). *Hidrología subterránea*, Barcelona: Ediciones Omega SA.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2001). *Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua: desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21*. CEPAL.
- Duran Juárez, J. M., & Torres Rodríguez, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral (Guadalajara)*, 12(36), 129–162.
- Enríquez Villarreal, J. W., & Espinosa Quinde, M. A. (2018). *Análisis tectono-estratigráfico de la cordillera costera entre las poblaciones de Jipijapa y La Rinconada*. Quito, 2018.
- GAD Cascol, G. A. (2021). *Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial 2021*. Cascol.
- GAD Paján, G. A. (2014). *Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial 2014*. Paján.
- Goosens, P. J., Rose, W. I., & Flores, D. (1973). *Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the Basic Cretaceous Complex, Ecuador*, *Geol. Geol. Soc. Am. Bull*, 84, 1043–1052.
- Herrera-Franco, G., Apolo-Masache, B., Escandón-Panchana, P., Jácome-Francis, K., Morante-Carballo, F., Mata-Perelló, J., & Carrión-Mero, P. (2022). Perception of the Geological-Mining Heritage to Promote Geotourism in Guayaquil, Ecuador. *Geosciences*, 12(9), 322. <https://doi.org/10.3390/geosciences12090322>
- Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., Montalván-Burbano, N., Mora-Frank, C., & Berrezueta, E. (2022). Bibliometric Analysis of Groundwater's Life Cycle



Assessment Research. *Water*, 14(7), 1082.  
<https://doi.org/10.3390/w14071082>

Herrera-Franco, G., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., & Bravo-Montero, Lady. (2021a). Worldwide Research on Socio-Hydrology: A Bibliometric Analysis. *Water*, 13(9), 1283. <https://doi.org/10.3390/w13091283>

Herrera-Franco, G., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., & Bravo-Montero, Lady. (2021b). Worldwide Research on Socio-Hydrology: A Bibliometric Analysis. *Water*, 13(9), 1283. <https://doi.org/10.3390/w13091283>

Herrero, A. (2018). Geomorfología e Hidrología Fluvial del Río Alberche: Modelos y SIG Para la Gestión de Riberas. *Ene*, 8, 28.

Jaillard, E., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., & Zambrano, I. (1995). *Basin development in an accretionary, oceanic-floored forearc setting: southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time. Petroleum basins of South America: AAPG Memoir*, 62, 615–632.

Lañínez, G. (2009). *Relevamiento y Correlación Geológica Del Sector Oriental Del Puerto De Manta, Provincia de Manabí, Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.

Luzieux, L., Heller, F., Spikings, R., Wilker, W., Vallejo, C., & Wilker, W. (2006). *Origin and Cretaceous history of the coastal Ecuadorian forearc between 10N and 30S: paleomagnetic, radiometric and Fossil evidence. Earth and Planetary Science Letters*, 249, 400–414.

Machiels, L., Garces, D., Snellings, R., Vilema, W., Morante, F., Paredes, C., & Elsen, J. (2014). Zeolite occurrence and genesis in the Late-Cretaceous Cayo arc of Coastal Ecuador: Evidence for zeolite formation in cooling marine pyroclastic flow deposits. *Applied Clay Science*, 87, 108–119.

Mansilla, Ó. G., Houle, R. V., & Limas, E. del C. A. (2017). Uso de sondeos electromagnéticos en la caracterización hidrológica del acuífero del altiplano

de Tula, Tamaulipas. *Investigación y Ciencia: De La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 70, 23–30.

Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & Garcia, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 27(3), 348–360. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>

Menéndez Mendoza, J. J. (2018). *Diagnóstico Turístico De La Parroquia Cascol Del Cantón Paján*. Jipijapa-Unesum.

Merchán-Sanmartín, B., Aucapeña-Parrales, J., Alcívar-Redrován, R., Carrión-Mero, P., Jaya-Montalvo, M., & Arias-Hidalgo, M. (2022a). Earth Dam Design for Drinking Water Management and Flood Control: A Case Study. *Water*, 14(13), 2029. <https://doi.org/10.3390/w14132029>

Merchán-Sanmartín, B., Aucapeña-Parrales, J., Alcívar-Redrován, R., Carrión-Mero, P., Jaya-Montalvo, M., & Arias-Hidalgo, M. (2022b). Earth Dam Design for Drinking Water Management and Flood Control: A Case Study. *Water*, 14(13), 2029. <https://doi.org/10.3390/w14132029>

Merchán-Sanmartín, B., Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., González Rugel, A., & Vera-Demera, H. (2022). *Design of the Interceptor-Collector and Wastewater Treatment System for Pollution Mitigation: A Case Study*. 125–136. <https://doi.org/10.2495/AWP220111>

Merchán-Sanmartín, B., Carrión-Mero, P., Suárez-Zamora, S., Aguilar-Aguilar, M., & Berrezueta, E. (2022). Design of a Solid Waste Separation, Valuation and Recycling Centre on a University Campus. Case Study. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(4), 1067–1076. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170403>

Merchán-Sanmartín, B., Carrión-Mero, P., Suárez-Zamora, S., Morante-Carballo, F., Aguilar-Aguilar, M., Cruz-Cabrera, O., & Hidalgo-Calva, K. (2022a). *Drinking Water Master Plan for the Management of Water Resources on a University Campus*. 27–38. <https://doi.org/10.2495/SDP220031>

- Merchán-Sanmartín, B., Carrión-Mero, P., Suárez-Zamora, S., Morante-Carballo, F., Aguilar-Aguilar, M., Cruz-Cabrera, O., & Hidalgo-Calva, K. (2022b). *Drinking Water Master Plan for the Management of Water Resources on a University Campus*. 27–38. <https://doi.org/10.2495/SDP220031>
- Merchán-Sanmartín, B., Torres, R., Benalcázar, J., Carrión-Mero, P., Herrera-Franco, G., Berrezueta, E., & Jaya-Montalvo, M. (2021). *Valuation of a Community Company and its Impact on Development Strategies*. 95–107. <https://doi.org/10.2495/WRM210091>
- Mullo-Sinaluisa, A., Oquendo-Borbor, C., Velastegui-Montoya, A., Merchán-Sanmartín, B., Chávez-Moncayo, M., Herrera-Matamoros, V., & Carrión-Mero, P. (2022). Hill Dam Design to Improve Water Use in Rural Areas—Case Study: Sacachún, Santa Elena. *Sustainability*, 14(19), 12268. <https://doi.org/10.3390/su141912268>
- Nfundiko, C. B., & others. (2013). *Caracterización hidrogeológica del yacimiento Camarioca Sur, Moa*. Departamento de Geología.
- Nieto, N. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *Política y Cultura*, 36, 157–176.
- Olsson, A. A. (1940). *Tertiary deposits of northwestern South America and Panama*.
- Ordoñez, M. (2006). *Micropaleontología ecuatoriana: Datos bioestratigráficos y paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del levantamiento de la península de Santa Elena, y de las cordilleras Chongón Colonche, costera y Occide*. Petroproducción y Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil.
- Ordoñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). *Micropaleontología Ecuatoriana. Datos Bioestratigráficos y Paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí*.

- Paulhus, L. K., & Linsley, R. (1977). Hidrología para ingenieros. *Editorial Mc Graw-Hill*.
- Plaza, E. (2019). *Actualización Del Plan De Desarrollo Ordenamiento Territorial De La Parroquia Rural Selva Alegre Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial De La Parroquia Selva Alegre*. 1–243.
- Ramírez Parrales, M. F., & others. (2013). *Registros De La Deformación Y Del Volcanismo En El Dominio Del Antearco Ecuatoriano: Sedimentología Y Bioestratigrafía De La Formación Borbón*.
- Ruiz, J. (2001). Hidrología; evolución y visión sistémica, la morfometría de cuenca como aplicación. *Barinas, Venezuela: UNELLEZ*.
- Sorroza Constante, M. J. (2012). *El desarrollo industrial del cantón Durán y su incidencia económica y social en el período 2008-2011*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*.
- Tschopp, H. J. (1948). Geologische skizze von Ekuador Bulletin de l'Association Suisse de Géologie, v. 15. 14–45.
- Tulsma, L. (2017). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes.
- Tundisi, J. G. (2003). Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Ciência e Cultura*, 55(4), 31–33.
- Valdiviezo Merchán, G. C. (2015). *Análisis sobre la Cobertura y calidad de la provisión de los servicios básicos en la Gestión del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paján 2010-2014*. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas.
- Valencia, J. (2017). Análisis hidrogeológico de la cuenca del río Manglaralto para la caracterización de sus sistemas acuíferos. *Proyecto de Grado, Escuela Superior Politécnica Del Litoral (ESPOL), Ecuador*.

Villalva Arias, C. A. (2017). *Caracterización hidrogeológica de la Subcuenca Cantagallo-Jipijapa mediante la aplicación de sondeos eléctricos verticales*. Quito: UCE.

Villitanga, C., & Rubén, M. (2020). *Tectonosequence Analysis of The Manabi Basin, Ecuador*. Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay.

Werner, J. (1996). *Introducción a la Hidrogeología*.

Wolf, T. (1892). *Geografía y geología del Ecuador; publicada por orden del supremo gobierno de la república por Teodoro Wolf*. Tipografía de FA Brockhaus.

Zambrano, L. (2011). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial*.

# Anexos

## Análisis multitemporal

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>P</b>													
<b>ETP</b>													
<b>ETR</b>													
<b>DÉF.</b>													
<b>RES.</b>													
<b>EXC.</b>													

## Anexo 1 Ficha del balance hídrico

TEMPERATURAS MENSUALES 1993 - 2013 (°c)												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOBIEMBRE	DIEMBRE
1993	26	25,6	25,5	26,7	26,6	25,9	25,4	25,1	25,4	25,5	25,5	26,1
1994	25,8	25,7	26,1	26,2	26,1	25	24,6	24,6	25,5	25,9	25,8	26,3
1995	26	26,3	26,6	26,6	26,1	25,9	25,3	25,3	26,4	26,3	26,1	26,6
1996	26,3	26	26,6	26,5	26,6	25,2	25,1	26,3	25,4	26,2	26,7	27,2
1997	26,3	26,5	26,7	26,8	27,2	26,7	26,9	26,4	26,6	26,8	26,5	26,8
1998	27,3	27,5	27,4	27,1	26,9	26,1	25,1	25,4	25,6	25,3	25,6	25,9
1999	26,1	25,3	26,5	26,1	25,9	24,7	24	24,3	25,3	24,7	25,6	25,9
2000	25,7	25,5	25,9	26,1	25,8	24,8	23,9	25,1	25,5	26,3	25,8	26,3
2001	26,1	26,1	26,4	26,5	25,7	24,4	24,8	24,9	25,9	26,4	26,7	27,1
2002	27,3	26,1	26,8	26,6	26,5	25,7	25,5	25,4	26,4	26,3	26,5	26,1
2003	26,5	26,5	27	27	26,7	25,1	25	25,6	25,7	26,5	26,9	26,7
2004	27	26,4	26,6	26,5	25,8	24,6	24,5	25,1	25,4	25,8	26,3	27,5
2005	27,7	26,2	26,6	27	25,6	25,1	25,1	25,4	26,2	25,7	26,7	26,7
2006	27	26,1	27	27	26,5	25,9	24,8	25,9	26,6	26,7	26,5	27,1
2007	26,4	26,7	26,3	27	26	24,9	25	24,6	25,9	25,7	26,4	26
2008	24,6	25,3	26,2	26,4	25,6	24,9	25,1	25,2	25,7	25,6	26	26
2009	25,9	25,7	26,1	26,5	26,2	25,6	25,7	25,8	26,7	26,5	26,9	27,2
2010	26,5	26,5	27	27,2	26,9	25,4	25,4	25,3	25,9	26,6	25,6	25,2
2011	25,9	26,2	27,1	26,6	26,6	26,1	25,5	25,1	26,3	25,7	26,1	26,9
2012	25,7	25,7	26,7	27,1	26,7	26,1	25,2	25,4	26,1	26,2	26,7	26,8
2013	25,8	26,2	26,9	26,6	25,7	24,8	24,4	25,5	26,4	26,1	26,3	27,1
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>	26,3	26,1	26,6	26,7	26,3	25,4	25,1	25,3	25,9	26,0	26,2	26,5

## Anexo 2 Datos de temperatura de la estación Olmedo recopilados de los anuarios meteorológicos del INAMHI

TEMPERATURAS MENSUALES 1993 - 2013 (°c)												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1993	26	25,6	25,5	26,7	26,6	25,9	25,4	25,1	25,4	25,5	25,5	26,1
1994	25,8	25,7	26,1	26,2	26,1	25	24,6	24,6	25,5	25,9	25,8	26,3
1995	26	26,3	26,6	26,6	26,1	25,9	25,3	25,3	26,4	26,3	26,1	26,6
1996	26,3	26	26,6	26,5	26,6	25,2	25,1	26,3	25,4	26,2	26,7	27,2
1997	26,3	26,5	26,7	26,8	27,2	26,7	26,9	26,4	26,6	26,8	26,5	26,8
1998	27,3	27,5	27,4	27,1	26,9	26,1	25,1	25,4	25,6	25,3	25,6	25,9
1999	26,1	25,3	26,5	26,1	25,9	24,7	24	24,3	25,3	24,7	25,6	25,9
2000	25,7	25,5	25,9	26,1	25,8	24,8	23,9	25,1	25,5	26,3	25,8	26,3
2001	26,1	26,1	26,4	26,5	25,7	24,4	24,8	24,9	25,9	26,4	26,7	27,1
2002	27,3	26,1	26,8	26,6	26,5	25,7	25,5	25,4	26,4	26,3	26,5	26,1
2003	26,5	26,5	27	27	26,7	25,1	25	25,6	25,7	26,5	26,9	26,7
2004	27	26,4	26,6	26,5	25,8	24,6	24,5	25,1	25,4	25,8	26,3	27,5
2005	27,7	26,2	26,6	27	25,6	25,1	25,1	25,4	26,2	25,7	26,7	26,7
2006	27	26,1	27	27	26,5	25,9	24,8	25,9	26,6	26,7	26,5	27,1
2007	26,4	26,7	26,3	27	26	24,9	25	24,6	25,9	25,7	26,4	26
2008	24,6	25,3	26,2	26,4	25,6	24,9	25,1	25,2	25,7	25,6	26	26
2009	25,9	25,7	26,1	26,5	26,2	25,6	25,7	25,8	26,7	26,5	26,9	27,2
2010	26,5	26,5	27	27,2	26,9	25,4	25,4	25,3	25,9	26,6	25,6	25,2
2011	25,9	26,2	27,1	26,6	26,6	26,1	25,5	25,1	26,3	25,7	26,1	26,9
2012	25,7	25,7	26,7	27,1	26,7	26,1	25,2	25,4	26,1	26,2	26,7	26,8
2013	25,8	26,2	26,9	26,6	25,7	24,8	24,4	25,5	26,4	26,1	26,3	27,1
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>	26,3	26,1	26,6	26,7	26,3	25,4	25,1	25,3	25,9	26,0	26,2	26,5

**Anexo 3 Datos de temperaturas de la estación Olmedo recopilados de los anuarios meteorológicos del INAMHI**

PRECIPITACIONES MENSUALES 1993 - 2013 (mm/año)													
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm/año)
1993	271,2	534,7	365,8	239,1	102,7	29,3	7,1	0	21,4	114,4	0	74,5	1760,2
1994	439,7	127,2	346,1	201,7	243,4	13,5	0	0	2	14,8	38,8	246,6	1673,8
1995	339,3	286,7	168,4	369,8	36,8	1,8	2,6	4	0	0	1,2	2,6	1213,2
1996	117,4	268	264,8	63,6	2,6	1	1,2	1,2	0	0	1	22	742,8
1997	271,4	250	341,4	546,7	189,2	132,2	53,2	201	157	86,4	254,6	597,5	3080,6
1998	475	466	763,4	713,4	383	210,6	34,6	19,6	0	0	11,6	58	3135,2
1999	134,2	780	316,6	308	133,2	3	2,8	0	48,8	0,3	5,8	95	1827,7
2000	93,6	287,1	289,8	289,8	235,4	191,2	14,2	0	0	0	12,4	8,6	1422,1
2001	574,2	496,1	446,4	452,4	109,8	0	0	0	1,8	0	4	5,9	2090,6
2002	222,2	450	556,2	477,2	179,7	1	0	0	0	0	4	9,4	1899,7
2003	290,5	443	204,1	182	102,2	0	9	0	0	16	0	27,4	1274,2
2004	143,1	331,4	374,4	142,7	134,6	11,8	2,2	0	25,3	45,4	0	4	1214,9
2005	21,2	340,4	383,4	426,4	3	0	0	0	0	1	0	37	1212,4
2006	233,5	440,9	423,9	50	72,2	3	50,4	4	3,2	56	39,8	68,4	1445,3
2007	178,6	140,6	326	389,6	43,1	23	42	1	5	2	1,2	15,4	1167,5
2008	447,3	529,2	347,6	179,7	122,2	9	0	14,8	11,4	24,6	46,6	0,6	1733
2009	504,3	321,3	394,4	91,2	78,1	4,8	3,8	0	24,4	4,6	0	120,8	1547,7
2010	306,1	488,1	467,6	431,4	185,3	11,2	14	2,7	4,7	0	9,2	316	2236,3
2011	235,4	267	72	362,6	27,4	27,2	70,3	0	0	0,2	1,4	85,2	1148,7
2012	537,3	854,3	632	390,1	215,7	12,9	0,5	0	3	0,8	18,3	83,9	2748,8
2013	263	325,2	645,6	409,4	60,4	4,1	1	1,4	0,3	0	0	7,4	1717,8
<b>PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL (mm/año)</b>	290,4	401,3	387,1	319,8	126,7	32,9	14,7	11,9	14,7	17,5	21,4	89,8	
<b>PRECIPITACIÓN PROMEDIO MULTIANUAL (mm/año)</b>	1728,2												


**Anexo 4 Datos de precipitaciones mensuales 1993 - 2013**

## Reconocimiento de campo y levantamiento geológica

Estación Geológica N.º		
Coordenadas	X	
	Y	
	Z	
Parámetros	Características	Foto
Características del suelo		
Estructuras Geológicas identificadas		
Presencia de agua		
Cobertura vegetal		


Anexo 5 Ficha de campo



Estación Geológica N.º1			
Coordenadas		X	564697
		Y	9811456
		Z	211
Parámetros	Características	Foto	
Características del suelo	Suelo arcilloso con presencia de arena		
Estructuras Geológicas identificadas	No se presentaron afloramientos en el sector.		
Presencia de agua	Presenta un pozo artesanal con un nivel freático de aproximadamente 3 metros de profundidad		
Cobertura vegetal	Presenta una vegetación muy abundante en donde existe cultivos de plátano y de caña		


#### Anexo 6 Ficha de campo de la estación geológica N°1

**Observaciones:** Se evidencio un suelo arcilloso con presencia de arena, además de un pozo artesanal recién hecho por los mismos moradores donde se evidencia la presencia de agua a una profundidad de 3 metros.

<b>Estación Geológica N.º2</b>		
<b>Coordenadas</b>	<b>X</b>	56441
	<b>Y</b>	9811343
	<b>Z</b>	217
<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>	<b>Foto</b>
<b>Características del suelo</b>	Suelo arcilloso con presencia de lutitas y limolitas.	
<b>Estructuras Geológicas identificadas</b>	Se evidenciaron fracturas de arcillas (lutitas oxidadas) aparentemente con contenido de hierro	
<b>Presencia de agua</b>	Presencia de río con un cauce moderado.	
<b>Cobertura vegetal</b>	La zona presenta abundantes árboles y plantas con coloraciones verdosas.	


#### **Anexo 7 Ficha de campo de la estación geológica N.º2**

**Observaciones:** Se evidenció la presencia de un suelo arcilloso con presencia de lutitas y limolitas, en donde existen fracturas de arcillas oxidadas de color rojizo. En esta zona presenta un cauce de río en estado activo con una densidad de drenaje moderada.

Estación Geológica N.º3			
Coordenadas		X	564445
		Y	9811597
		Z	208
Parámetros	Características	Foto	
Características del suelo	Se presenta un suelo arcilloso		
Estructuras Geológicas identificadas	No se presentaron afloramientos en el sector.		
Presencia de agua	La zona cuenta con un pozo inactivo y cuenta con 9 metros de profundidad, desde la superficie hasta el espejo de agua.		
Cobertura vegetal	Presenta vegetación y plantaciones de maíz.		

#### Anexo 8 Ficha de campo de la estación geológica N.º3


**Observaciones:** Se observó en la zona un suelo de material arcilloso. Además de la presencia de un pozo en estado inactivo con presencia de agua a una profundidad de 9 metros hasta el nivel freático.

<b>Estación Geológica N.º4</b>			
<b>Coordenadas</b>		<b>X</b>	17563593
		<b>Y</b>	9811945
		<b>Z</b>	213
<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>	<b>Foto</b>	
<b>Características del suelo</b>	Presencia de material calcáreo (lumaquela) Presencia de arenisca de grano fino –medio.		
<b>Estructuras Geológicas identificadas</b>	Se presenta una estructura aflorando en el río en donde se identificaron fósiles de moluscos y conchas.		
<b>Presencia de agua</b>	La zona cuenta con un pozo en funcionamiento hace más de 60 años abasteciendo a todo el sector		
<b>Cobertura vegetal</b>	Presenta árboles y plantaciones frondosas.		

#### **Anexo 9 Ficha de campo de la estación geológica N.º4**


**Observaciones:** En esta estación se observó la presencia de un material arenoso de grano medio a fino con contenido de restos fósiles de conchas y moluscos. Además, en la zona se encuentra el pozo principal de San Juan, que es un pozo con más de 60 años y que ha abastecido a todo el sector, incluyendo al recinto Simón Bolívar.



Estación Geológica N.º5		
Coordenadas	X	562909
	Y	9812884
	Z	230
Parámetros	Características	Foto
Características del suelo	Se presenta un suelo arcilloso	
Estructuras Geológicas identificadas	No se presentaron afloramientos en el sector.	
Presencia de agua	Presencia de un cauce de estero intermitente. La zona cuenta con un pozo inactivo en donde existe la presencia de agua salobre	
Cobertura vegetal	Presenta vegetación y plantaciones de plátano que en su mayor parte han sido quemadas	

#### Anexo 10 Ficha de campo de la estación geológica N.º5

**Observaciones:** Se presencia un suelo de material arcilloso y existe la presencia de un cauce de un estero intermitente que en época de sequía permanece inactivo. También existe un pozo donde se evidencia la presencia de agua, pero con un alto contenido de TDS, y no es apta para el consumo humano.

<b>Estación Geológica N.º6</b>			
<b>Coordenadas</b>		<b>X</b>	563382
		<b>Y</b>	9811866
		<b>Z</b>	238
<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>	<b>Foto</b>	
<b>Características del suelo</b>	Presencia de material calcáreo (lumaquela) Presencia de arenisca de grano fino a medio.		
<b>Estructuras Geológicas identificadas</b>	Se presenta un afloramiento con una intercalación de arenisca de grano fino a medio con areniscas con presencia de material calcáreo.		
<b>Presencia de agua</b>	La zona cuenta con un pozo en funcionamiento de 3 metros de profundidad que abastece a 2 familias. Presencia de río con cauce moderado a bajo.		
<b>Cobertura vegetal</b>	Presenta árboles, plantaciones y cañas verdesas.		


#### **Anexo 11 Ficha de campo de la estación geológica N.º6**

**Observaciones:** Se presenta un afloramiento con intercalaciones de arenisca de grano fino a medio con areniscas con contenido de material calcáreo. En esta estación se evidenció la presencia de un pozo en estado activo de 3 metros de profundidad el cual abastece a dos familias del sector. También se observó el cauce de un río con una corriente moderada a baja.

Estación Geológica N.º 7			
Coordenadas		X	563502
		Y	9813312
		Z	730
Parámetros	Características	Foto	
Características del suelo	Suelo arcilloso		
Estructuras Geológicas identificadas	Capas decimétricas a centimétricas estratificadas con presencia de fracturamiento. Presencia de microfallas.		
Presencia de agua	No se observa presencia de agua superficial		
Cobertura vegetal	Presenta muy poca vegetación		

#### Anexo 12 Ficha de campo de la estación geológica N.º7


**Observaciones:** Se presenta un afloramiento de arcillolitas color crema con un ángulo y dirección de buzamiento de  $15^{\circ}/238^{\circ}$ . Algunas de estas capas son decimétricas a centimétricas estratificadas con presencia de fracturamientos y algunas microfallas locales.

<b>Estación Geológica N.º 8</b>			
<b>Coordenadas</b>		<b>X</b>	563155
		<b>Y</b>	9811945
		<b>Z</b>	247
<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>	<b>Foto</b>	
<b>Características del suelo</b>	Presencia de rocas aflorantes con presencia de arenisca calcáreas conglomeráticas		
<b>Estructuras Geológicas identificadas</b>	No se presentaron afloramientos en el sector.		
<b>Presencia de agua</b>	Presenta un pozo inactivo con presencia de agua cerca de la zona.		
<b>Cobertura vegetal</b>	Presenta una vegetación poco consolidada, pasto seco y maleza.		

**Anexo 13 Ficha de campo de la estación geológica N.º8**


**Observaciones:** Se presentan areniscas calcáreas conglomeráticas con contenido de lutitas grises siendo esta la matriz y presencia de cuarzos y otros minerales líticos.



<b>Estación Geológica N.º 9</b>		
<b>Coordenadas</b>	<b>X</b>	563367
	<b>Y</b>	9811842
	<b>Z</b>	231
<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>	<b>Foto</b>
<b>Características del suelo</b>	Presencia afloramientos con presencia de arenisca calcáreas y arcillas arenosas.	
<b>Estructuras Geológicas identificadas</b>	Se presentaron afloramientos con estratificaciones con rumbo de 280º y buzamiento de 14º N.	
<b>Presencia de agua</b>	Presencia de pozo y estero con presencia de agua.	
<b>Cobertura vegetal</b>	Presenta una vegetación abundante con coloraciones verdosas.	

#### **Anexo 14 Ficha de campo de la estación geológica N.9**

**Observaciones:** En el sector se presentan afloramientos estratificados con presencia de areniscas calcáreas con alto contenido de fósiles, estos afloramientos son estratificados con un ángulo y dirección de buzamiento de 20N/335º. En este sector se encontró un posible contacto entre la Fm. Angostura y la Fm. Onzole.

Estación Geológica N.º 11			
Coordenadas		X	563344
		Y	9812213
		Z	223
Parámetros	Características	Foto	
Características del suelo	Presencia de arcillas arenosas		
Estructuras Geológicas identificadas	No se presentaron estructuras en el sector.		
Presencia de agua	Presencia de un estero en estado inactivo.		
Cobertura vegetal	Presenta una vegetación de pasto seco y maleza.		

#### Anexo 15 Ficha de campo de la estación geológica N.º10

**Observaciones:** Se presenta un afloramiento dentro de un cauce de un estero en estado inactivo, donde se pudo identificar arcillas arenosas y mucha vegetación con un suelo muy húmedo.

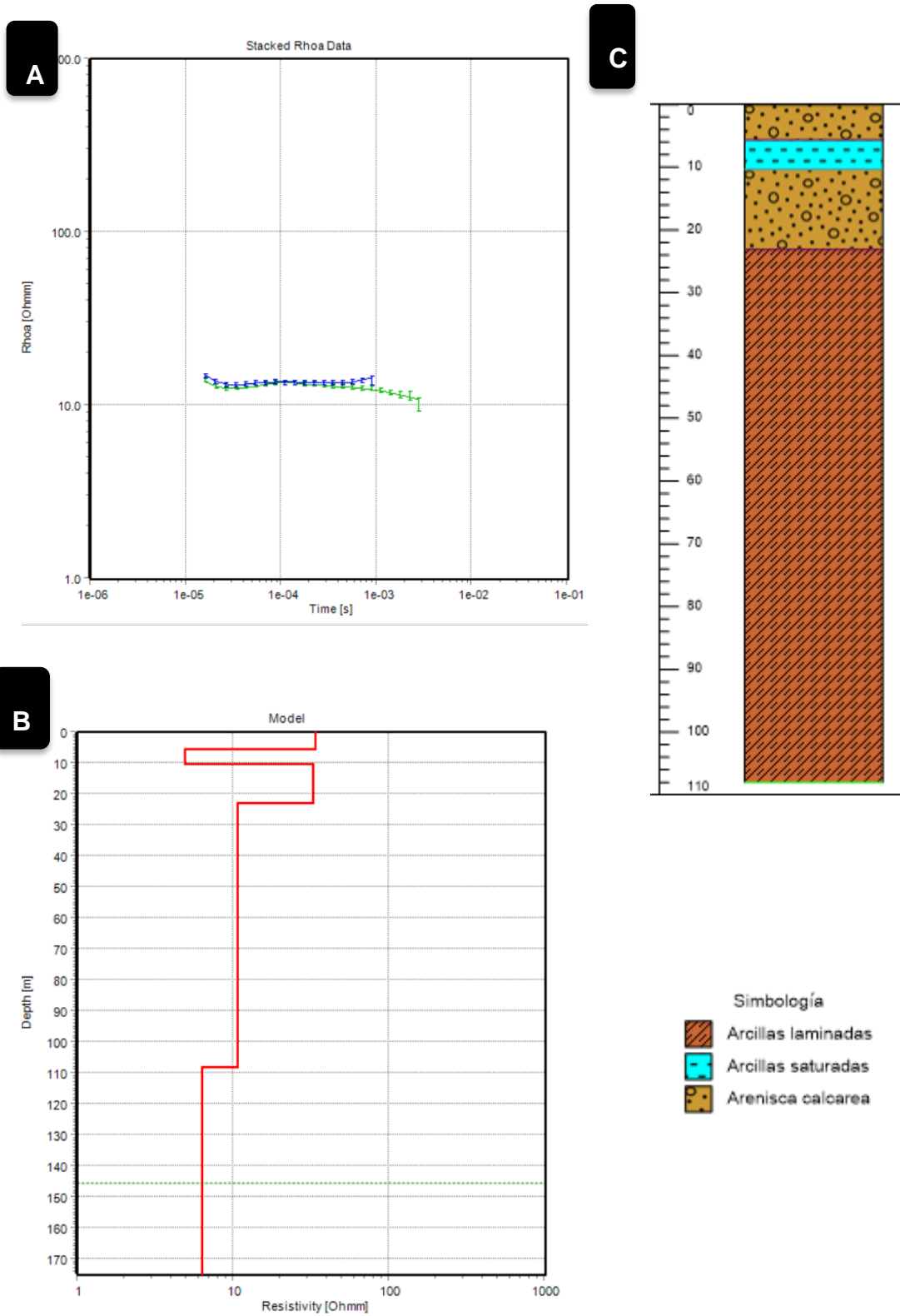
## Prospección Geofísica

### Interpretación electromagnética EM-03

En el Anexo 16 B, se puede observar una posible distribución de las capas del subsuelo de acuerdo a las resistividades del terreno. El sondeo electromagnético presentó una profundidad máxima aproximada de 108 m, encontrando en su primera capa con un espesor de 5.65 m y registrando una resistividad de 33,6  $\Omega\text{m}$ ; esto se podría asociar a una arenisca calcárea conglomerática. En la segunda capa a una profundidad de 10,4 m se registra una resistividad de 4.94  $\Omega\text{m}$ , el cual puede interpretarse como un material de arcillas saturadas. En la tercera capa se presenta una resistividad de 32,6  $\Omega\text{m}$ , el cual puede interpretarse nuevamente como la arenisca calcárea conglomerática. En la cuarta capa se registra una resistividad con valor de 10,8  $\Omega\text{m}$ , asociadas posiblemente a arcillas laminadas. En la quinta y última capa se registró una resistividad de 6,34  $\Omega\text{m}$ , esto puede interpretarse nuevamente como una capa de arcillas laminadas.

<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
1	Arenisca calcárea	5,67	33,6
2	Arcillas saturadas	10,4	4,64
3	Arenisca calcárea	23,1	32,6
4	Arcillas laminadas	108	10,8
5	Arcillas laminadas		6,34

**Anexo 16 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-03**



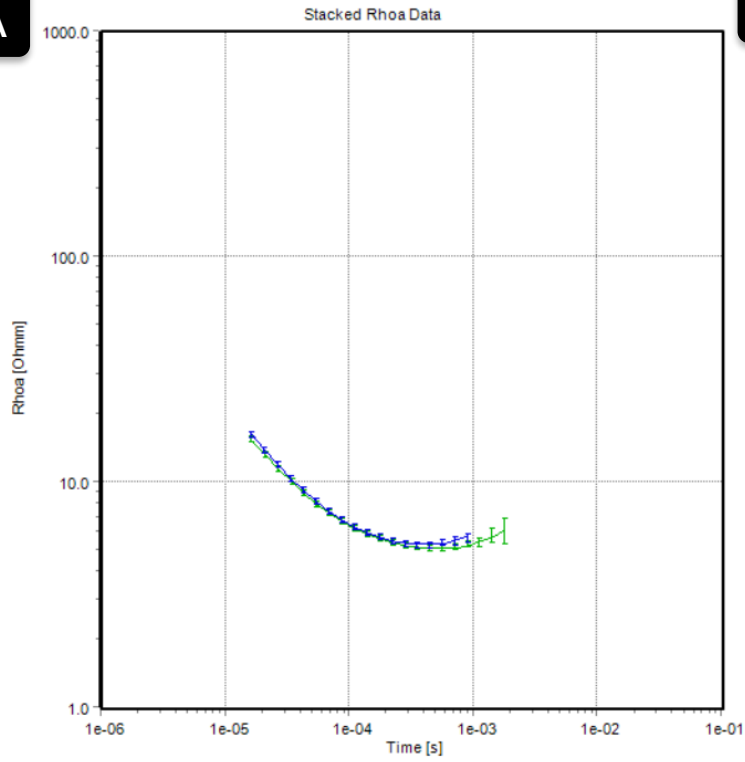
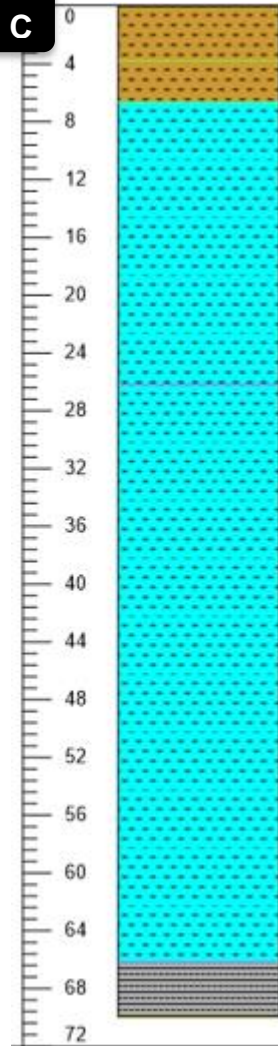
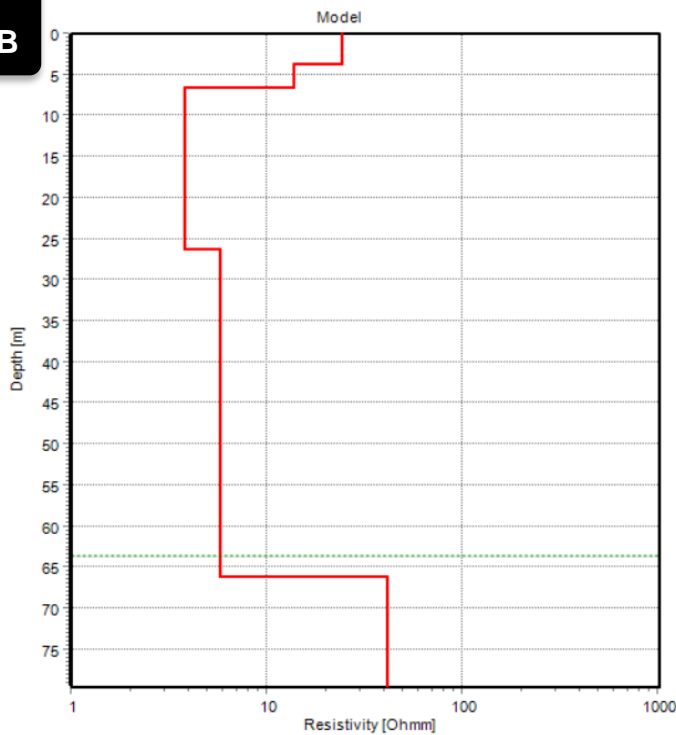
**Anexo 17. A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-03.**




### Interpretación electromagnética EM-04

En el Anexo 18 C, se puede observar la distribución de capas en el subsuelo de acuerdo a las resistividades que proporciona el terreno. El sondeo electromagnético presentó una profundidad máxima aproximada de 66,2 m, encontrando en su primera capa con un espesor de 3,78 m y registrando una resistividad de 24  $\Omega\text{m}$ ; este valor se lo puede asociar a un material arcilloso arenoso. En la segunda capa a una profundidad de 6,62 m se registra una resistividad de 13,6  $\Omega\text{m}$ , el cual puede interpretarse nuevamente como un material de arcillas arenosas. En la tercera capa se presenta una resistividad de 3,78  $\Omega\text{m}$ , donde puede estar asociado a un material de arcillas saturadas con una profundidad de 26,2 m. En la cuarta capa se registra una resistividad con valor de 5,72  $\Omega\text{m}$ , asociadas posiblemente a las mismas arcillas saturadas. En la quinta y última capa se registró una resistividad de 41,1  $\Omega\text{m}$ , esto puede interpretarse como un material de resistividad alta y estar asociado a una capa de limolitas.

Numero de capa	Descripción	Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
1	Arcillas arenosas	3,78	24
2	Arcillas arenosas	6,62	13,6
3	Arcillas saturadas	26,2	3,78
4	Arcillas saturadas	66,2	5,72
5	Limolitas		41,1

#### Anexo 18 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-04

**A****C****B**

- Simbología
-  Arcillas arenosas
  -  Arcillas saturadas
  -  Limolitas

Anexo 19 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-04.

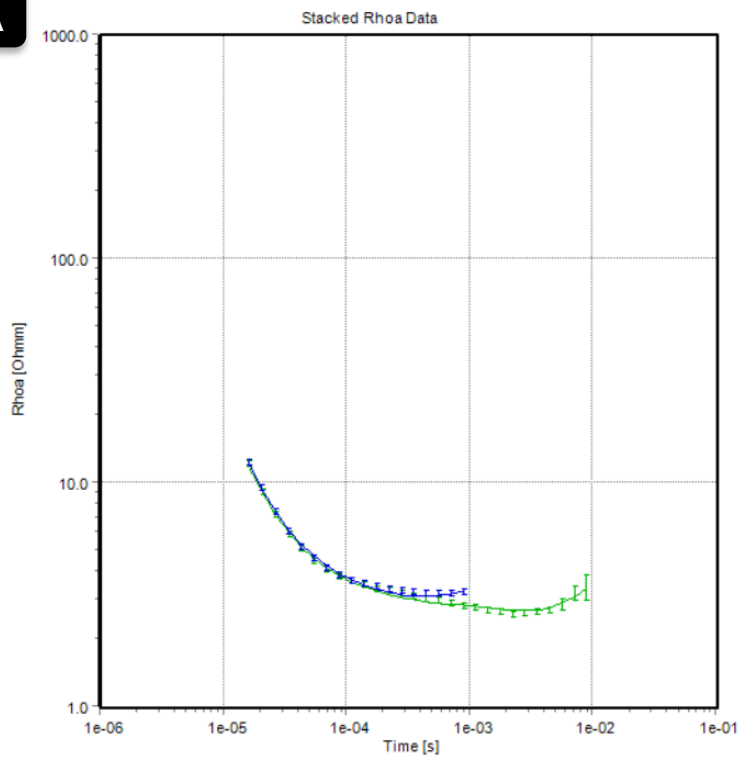
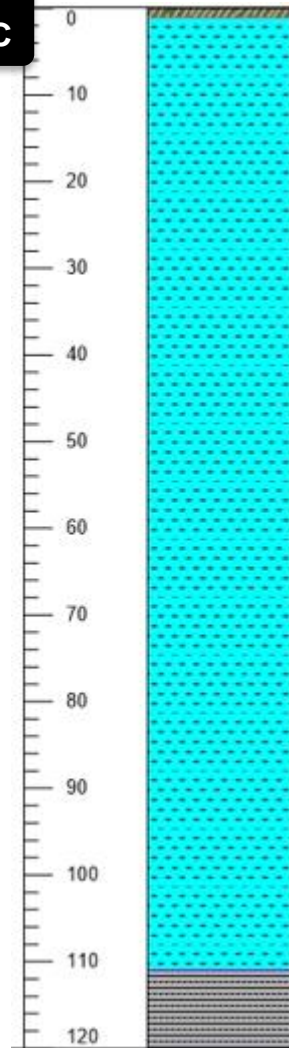
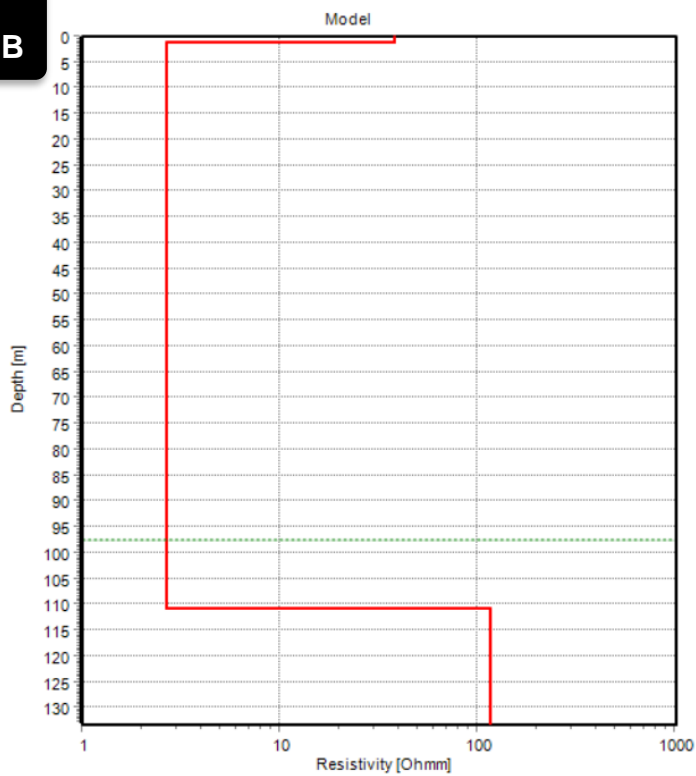
## Interpretación electromagnética EM-06

En el Anexo 20 C, se observa la distribución de capas en el subsuelo de acuerdo a las resistividades que proporciona el terreno a través del sondeo eléctrico realizado. Presentando una profundidad aproximada de 111 m, encontrando en su primera capa con un espesor de 1,12 m y registrando una resistividad de 38,2  $\Omega\text{m}$ ; este valor se lo puede asociar a un suelo duro y dado las condiciones en las que se encontraba el terreno, se lo pudo asociar a un suelo arcilloso quemado. En la segunda capa a una profundidad de 111 m se registra una resistividad de 2,65  $\Omega\text{m}$ , el cual puede interpretarse como arcillas saturadas. En la tercera capa se presenta una resistividad de 116  $\Omega\text{m}$ , donde puede estar asociado a un material compacto y duro, por esa razón se lo pudo interpretar como una limolita.




<b>Numero de capa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
1	Suelo quemado	1,12	38,2
2	Arcillas saturadas	111	2,65
3	Limolitas		116

### Anexo 20 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-06.



**A****C****B**

Simbología

-  Arcillas saturadas
-  Limolitas
-  Suelo quemado

Anexo 21 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-06.

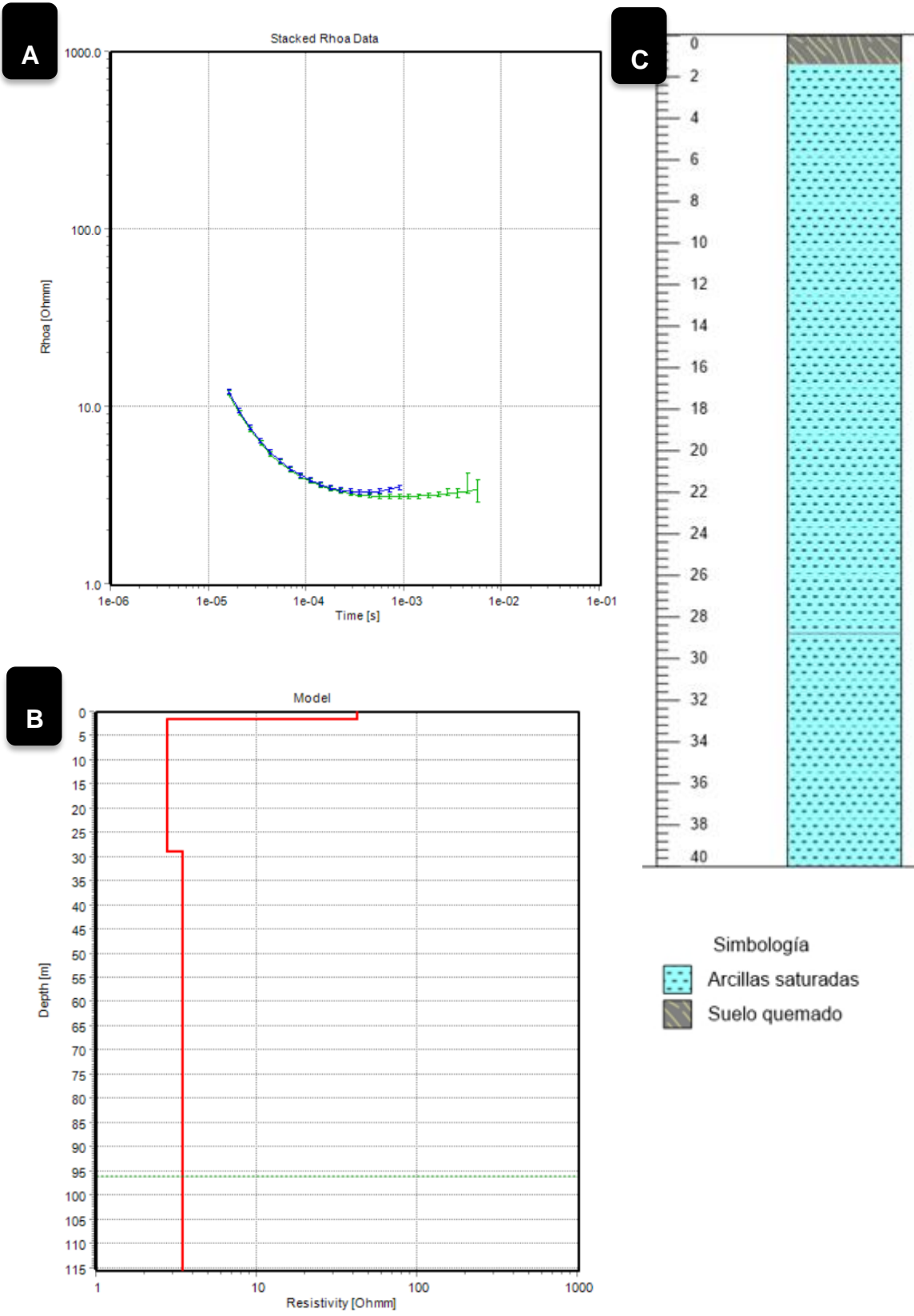


### Interpretación electromagnética EM-07

En el Anexo 22 C, se visualiza por medio de una columna geoelectrica, la distribución de capas en el subsuelo de acuerdo a las resistividades que proporciona el terreno a través del sondeo realizado. Presentando una profundidad aproximada de 28,8 m, encontrando en su primera capa con un espesor de 1,4 m y registrando una resistividad de 42,3  $\Omega\text{m}$ ; este valor se lo puede asociar a un suelo duro y dado las condiciones en las que se encontraba el terreno, se lo pudo asociar a un suelo arcilloso quemado. En la segunda y tercera capa a una profundidad de 27,4 m se registra una resistividad de 2,77 a 3,43  $\Omega\text{m}$ , el cual puede interpretarse como arcillas saturadas.

Numero de capa	Descripción	Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
1	Suelo quemado	2,88	42,3
2	Arcillas saturadas	28,8	2,77
3	Arcillas saturadas		3,43

**Anexo 22 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-07.**



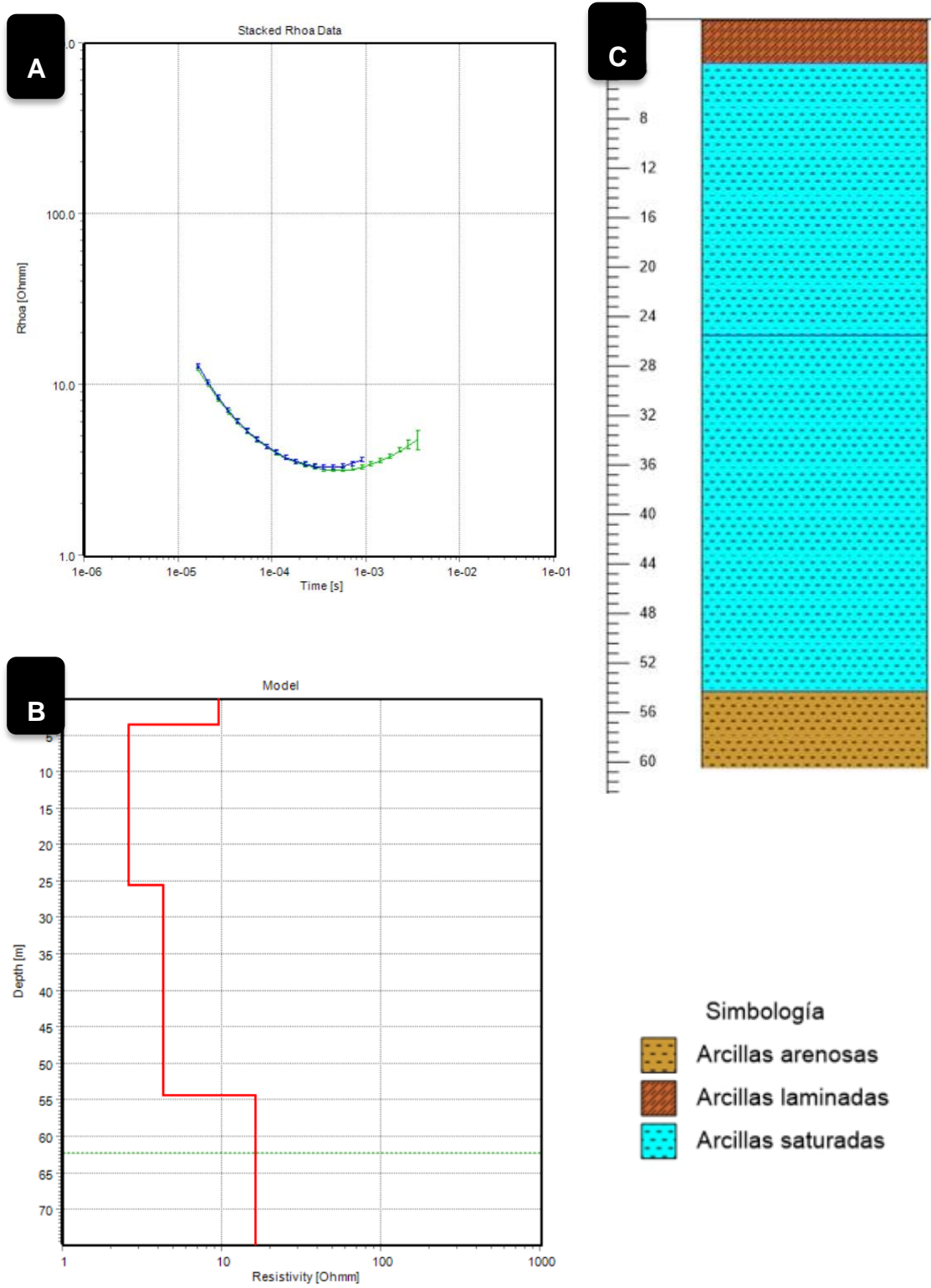
Anexo 23 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-07.

### Interpretación electromagnética EM-08

En el Anexo 24 C y Anexo 25, se observa la distribución de capas en el subsuelo de acuerdo a las resistividades que proporciona el terreno a través del sondeo que se pudo realizar. Presentando una profundidad aproximada de 54,3 m, encontrando en su primera capa con un espesor de 3,52 m y registrando una resistividad de 9,49  $\Omega\text{m}$ ; este valor se lo asocia a un suelo arcilloso. En la segunda capa a una profundidad de 25,5 m con un espesor de 22 m, se registra una resistividad de 2,6  $\Omega\text{m}$ , el cual puede interpretarse como arcillas saturadas. En la tercera capa se presenta una resistividad de 4,24  $\Omega\text{m}$ , donde puede estar asociado a un material arcilloso saturado con un espesor de 28,8 m, por la cual se lo asocia a las mismas arcillas saturadas. Por último, se registró una capa con 16,3  $\Omega\text{m}$  con una profundidad aparente de 60 m, asociando este valor al material de arcillas arenosas.

Numero de capa	Descripción	Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
1	Arcillas	3,52	9,49
2	Arcillas saturadas	25,5	2,6
3	Arcillas arenosas	54,3	54,3

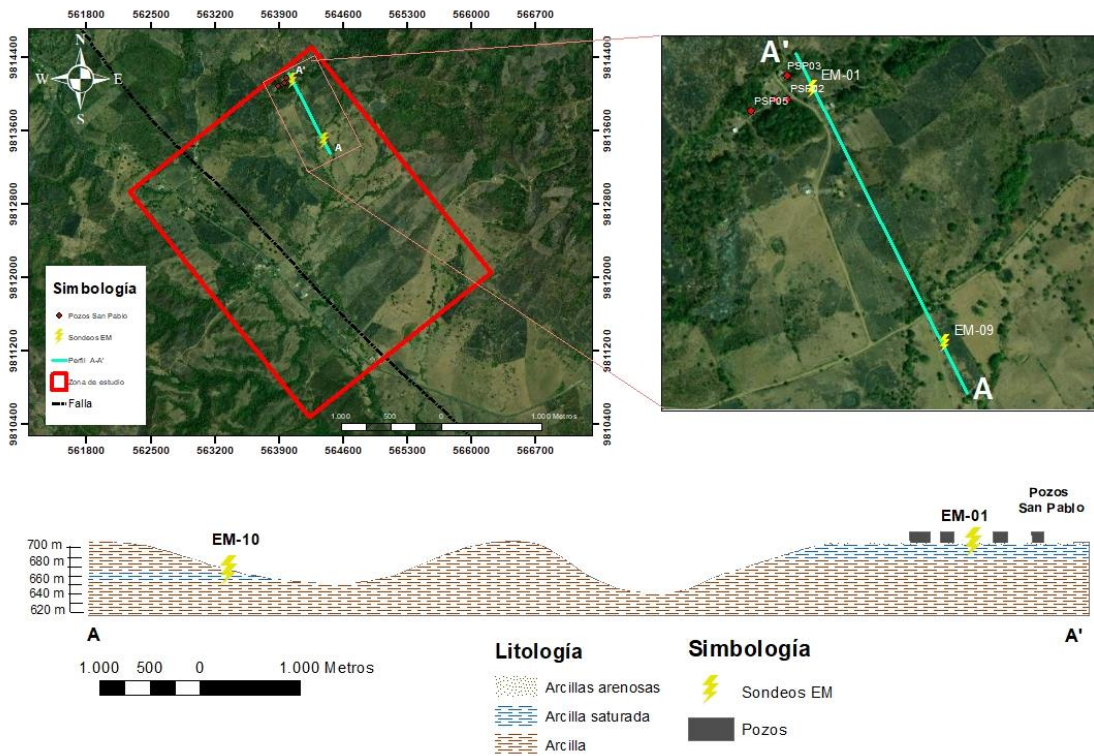
#### Anexo 24 Interpretación de la columna geoelectrica del EM-08



Anexo 25 A. Curva de Datos de campo. B. Curva de profundidad y resistividad de capas. C. Columna geoelectrica EM-08.

# Perfiles Geoeléctricos

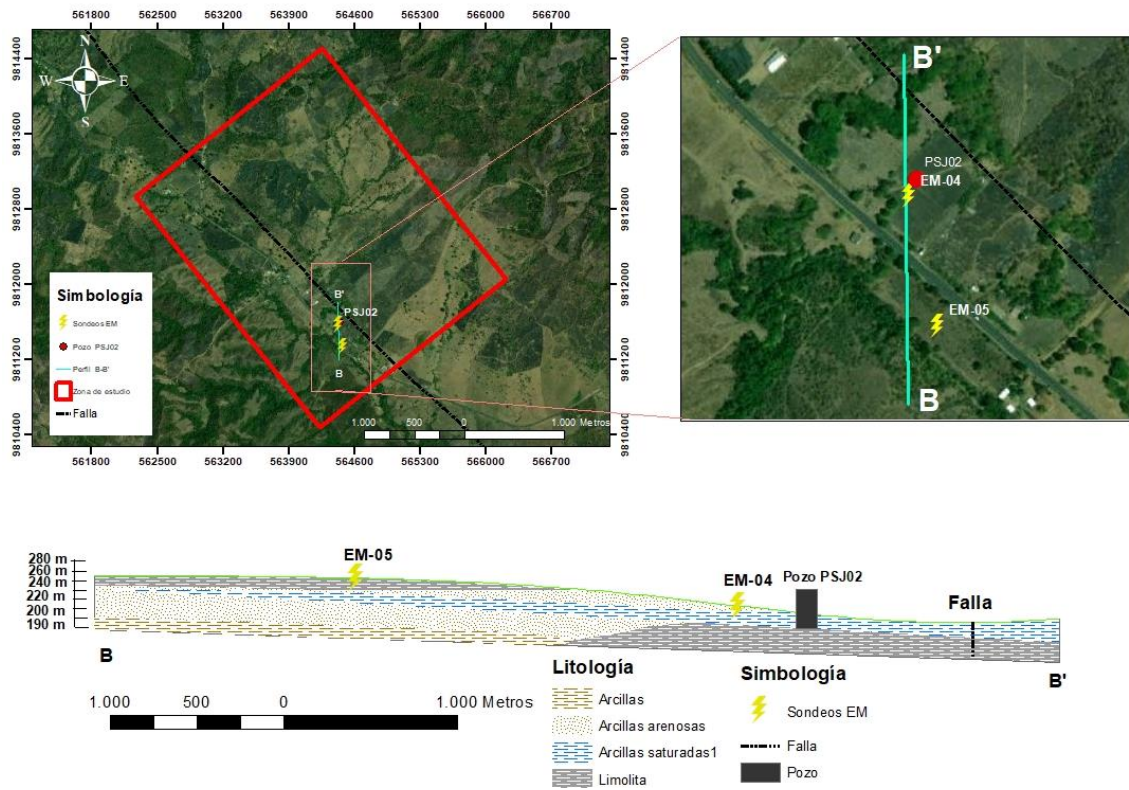
## Perfil A-A'



### Anexo 26. Perfil geoelectrico A-A'

El perfil A-A' del Anexo 26 se lo obtuvo en base a las correlaciones de las columnas geoelectricas que se interpretaron en la parte geofísica, considerando el relieve de la zona de estudio. En el perfil se identificaron las litologías con saturación en sus capas, que se encuentran cercano a los pozos ubicados en el recinto San Pablo.

## Perfil B-B'

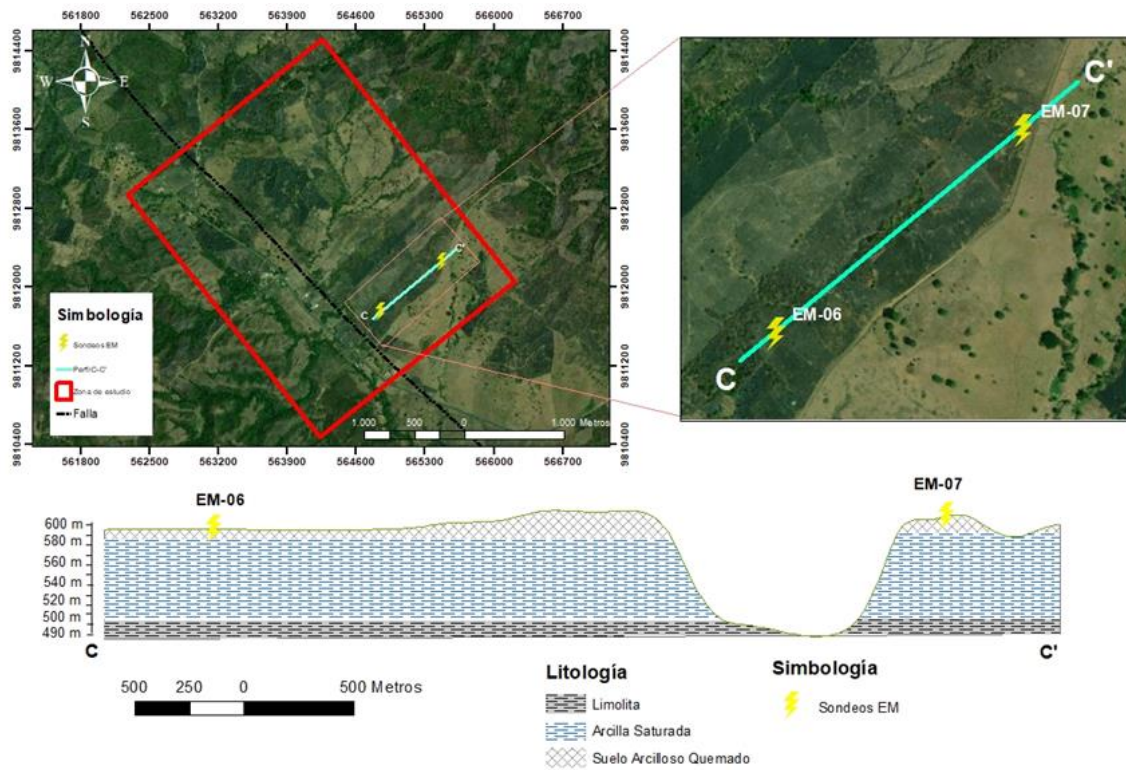


### Anexo 27 Perfil geoelectrico B-B'

El perfil B-B' del Anexo 27 se lo obtuvo en base a las correlaciones de las columnas geoelectricas que se interpretaron en la parte geofísica. Como resultado de este perfil se identificaron litologías como limolitas, arcillas arenosas y arcillas saturadas. Es observa que el pozo PSJ02 pertenecientes al recinto San Juan, en encuentra sobre la capa saturada y debajo de ella, se encuentra una capa impermeable como las limolitas.



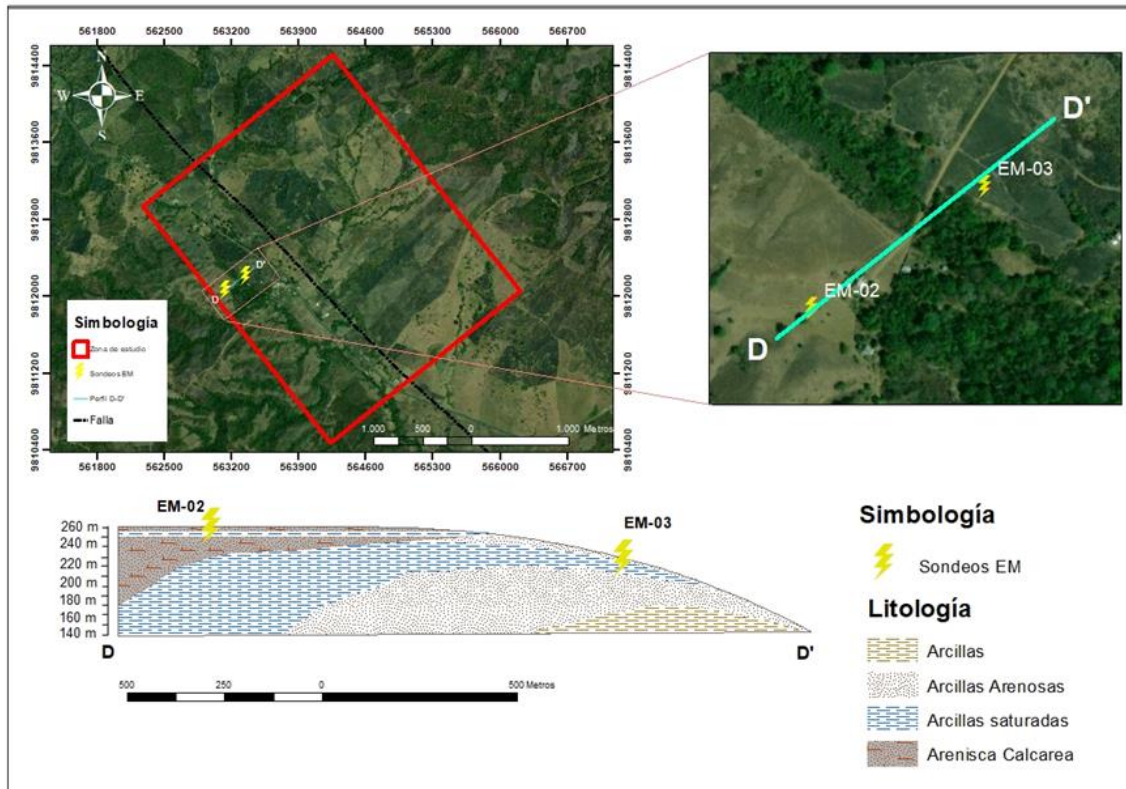
### Perfil C-C'



### Anexo 28 Perfil geoelectrico C-C'

El perfil C-C' del Anexo 28 se lo obtuvo en base a las correlaciones de las columnas geoelectricas que se interpretaron en la parte geofísica. Se identificaron capas de saturación de arcillas con espesores de 110 metros de profundidad.

## Perfil D-D'

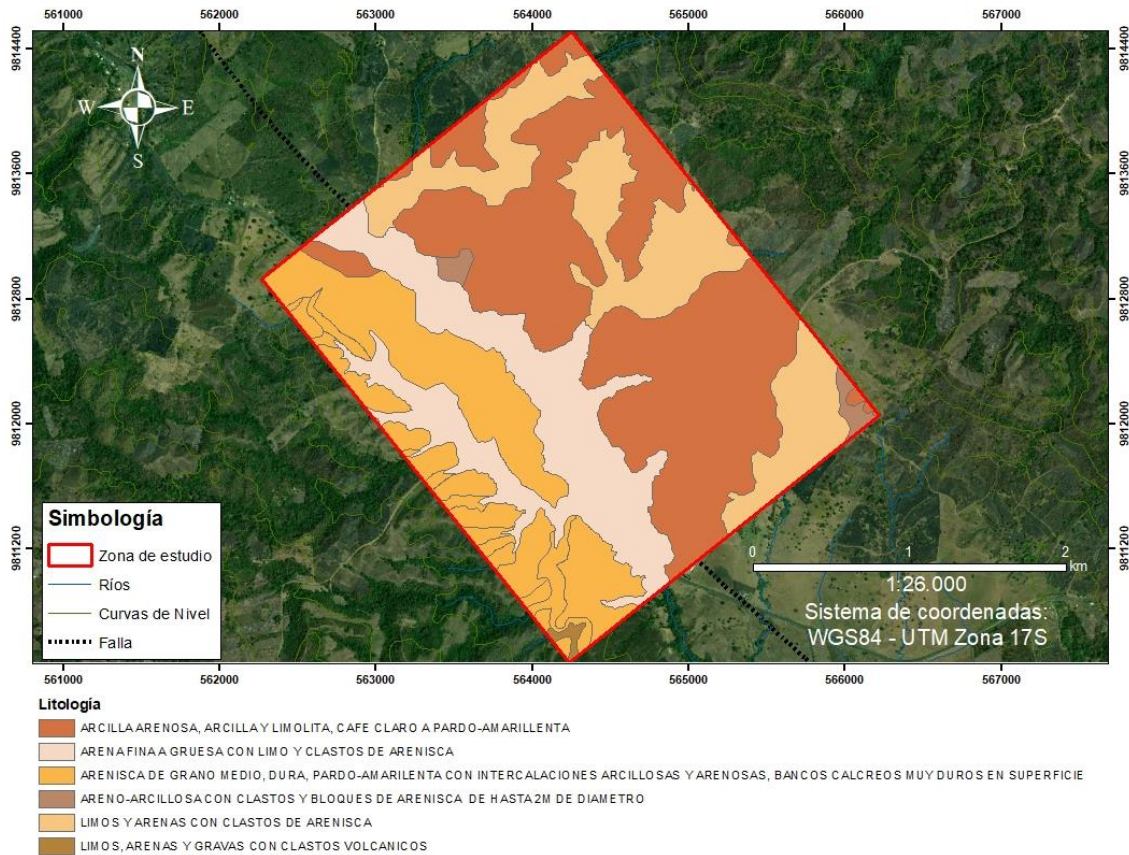


## Anexo 29 Perfil geoelectrico D-D'

El perfil D-D' del Anexo 28 se lo obtuvo en base a las correlaciones de las columnas geoelectricas EM-02 y EM-03 que se interpretaron en la parte geofísica. Teniendo como resultado en la parte superficial material de areniscas calcáreas, arcillas y arcillas arenosas. Además de una capa de arcillas saturadas que se localizó con el sondeo EM-03.



## Mapa litológico



### Anexo 30 Mapa litológico de la zona de estudio

En el Anexo 30 se presenta el mapa litológico, donde se tiene la mayor concentración de arcillas arenosas, arcillas y limolitas en las zonas altas de San Juan y parte del recinto San Pablo. Las arenas finas se localizan en las partes bajas de San Juan, cercanos a los ríos y esteros que conforman el sector. Mientras que los limos, arenas y clastos de arenisca, se localizan en las partes onduladas del recinto San Pablo.

## Fotografías de campo



Anexo 31 Toma de datos en campo de SEV's





**Anexo 32 Manejo de equipo EM**



**Anexo 33 Descripción de litología con presencia de fósiles calcáreos**



**Anexo 34 Equipo y personal de campo del proyecto**