

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON USO CONJUNTO DE AGUAS, APLICANDO EL SISTEMA DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA. MANGLARALTO-SANTA ELENA-ECUADOR”.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del título de:

### **INGENIERÍA EN GEOLOGÍA**

PRESENTADO POR:

LADY KATHERINE BRAVO MONTERO

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2020

## DEDICATORIA

Dedicada a mis padres Jesús Bravo y Rita Montero, mi hermana Diana Bravo y mis sobrinos: Jaider y Adalíah, quienes han sido mi pilar fundamental en todo proyecto y etapa de mi vida. Quiero dedicar de manera especial a mi primo Alexander Obando, que siempre fue mi apoyo y ahora desde el cielo sé que me cuida siempre.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecida en primer lugar con Dios, por permitirme culminar este proyecto, a mis padres, que sin lugar a duda son mi fortaleza y soporte.

Mi más sincero agradecimiento a mi querido tutor el Dr. Paúl Carrión por sus consejos y ser mi guía en este proyecto, al Dr. Fernando Morante por su apoyo y comprensión. Al equipo de CIPAT (Gabriela, Carolina, Boris, Josué, María Fernanda, Maribel, Don Carlos) por todo el apoyo brindado. Agradezco a mi cuñado por su apoyo, así como también a los directivos y trabajadores de la JAAPMAN por siempre colaborar amablemente. A mis amigos, en especial a Ximena Quiñonez y Juan Pacheco por su soporte en este proceso. Además, a mis profesores que han aportado en mi formación profesional y humana a lo largo de la carrera.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Lady Katherine Bravo Montero* 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”

---

Lady Katherine Bravo Montero

# EVALUADORES

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

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Ing. Paul Carrión, PhD.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN) desde marzo de 1979, como empresa comunitaria, realiza la gestión de la cuenca media y baja del río Manglaralto, para el suministro de agua de sus asociados, que son parte de la parroquia. Los desafíos por enfrentar a problemas técnicos, económicos, climáticos y sociales han sido diversos. Este lugar ha funcionado como un laboratorio natural, para resolver los problemas asociados al agua en esta parroquia. El objetivo de este trabajo es evaluar las condiciones hidrogeológicas de los ríos asociados a la cuenca Manglaralto (Cadeate, Simón Bolívar y Manglaralto), mediante un análisis geológico, geofísico e hidrogeológico con aplicación de técnicas ancestrales de Siembra y Cosecha de Agua (SyCA) para una gestión integral del recurso en el sector. La metodología que se aplicó al estudio comprendió: i) Sistematización de Información. ii) Análisis general de las cuencas hidrográficas, sus divisiones y drenajes. Aplicación GIS. iii) Prospección geoelectrica aplicada en los 3 principales ríos asociados a los acuíferos costeros. iv) Análisis técnico y propuesta de diseño para el nuevo pozo requerido. v) Análisis de la Siembra y Cosecha de Agua (SyCA) en las cuencas hidrográficas como agente regulador de la misma. Los resultados demostraron que la JAAPMAN en vínculo técnico-científico con la ESPOL, ha desarrollado un sistema de gestión integral que consideró el sistema del ciclo del uso del agua, con características de resiliencia, cumpliendo con los desafíos para sostener la creciente demanda. Es decir, se pudo establecer estrategias de las posibilidades de suministro en base a la capacidad de esta cuenca hidrográfica que comprende tres subcuencas, la subcuenca del río Manglaralto, la subcuenca del río Simón Bolívar y la subcuenca del río Cadeate.

**Palabras Claves:** cuencas hidrográficas, prospección geoelectrica, SyCA, sistema río-acuífero.

## **ABSTRACT**

*The Manglaralto Regional Drinking Water Management Board (JAAPMAN) since March 1979, as a community company, manages the middle and lower basin of the Manglaralto river, for the supply of water to its associates, who are part of the parish. The challenges to face technical, economic, climatic, and social problems have been diverse. This place has functioned as a natural laboratory, to solve the problems associated with water in this parish. The aim of this work is to evaluate the hydrogeological conditions of the rivers associated with the Manglaralto basin (Cadeate, Simón Bolívar and Manglaralto), through a geological, geophysical and hydrogeological analysis with the application of ancestral techniques of Water Sowing and Harvesting (SyCA) to comprehensive management of the resource in the sector. The methodology applied to the study included: i) Information systematization. ii) General analysis of the hydrographic basins, their divisions and drains. GIS application. iii) Geoelectric prospecting applied in the 3 main rivers associated with coastal aquifers. iv) Technical analysis and design proposal for the new required well. v) Analysis of the Sowing and Harvesting of Water (SyCA) in the hydrographic basins as a regulating agent of the same. The results showed that JAAPMAN, in technical-scientific link with ESPOL, has developed a comprehensive management system that considered the water use cycle system, with resilience characteristics, meeting the challenges to sustain the growing demand. In other words, it was possible to establish supply possibilities strategies based on the capacity of this hydrographic basin that includes three sub-basins, the Manglaralto river sub-basin, the Simón Bolívar river sub-basin and the Cadeate river sub-basin.*

*Key Words: watersheds, geoelectric prospecting, SyCA, river-aquifer system.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	1
RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Preámbulo .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación del problema .....	5
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Objetivo General .....	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
1.5 Metodología General.....	8
1.5.1 Recursos.....	10
CAPÍTULO 2.....	11
2. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1 Ciclo Hidrológico.....	11
2.2 Parámetros Hidrogeológicos importantes.....	12
2.2.1 Porosidad.....	12
2.2.2 Permeabilidad o conductividad hidráulica .....	14
2.2.3 Coeficiente de almacenamiento.....	15
2.2.4 Tipos de Acuíferos .....	16
2.2.5 Acuíferos Costeros .....	18
2.3 Intrusión Salina.....	19
2.4 Exploración Hidrogeológica.....	20
2.4.1 Métodos de Prospección Geoeléctrica .....	20
2.4.2 Sondeo Eléctrico Vertical.....	22
2.5 Siembra y Cosecha de agua .....	23



2.6	Gestión de Acuíferos Costeros.....	28
CAPÍTULO 3.....		29
3.	DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	29
3.1	Geología.....	29
3.1.1	Geología Regional .....	29
3.1.1	Geología Local.....	33
3.1.2	Ubicación .....	37
3.2	Clima y Vegetación.....	41
3.3	Precipitación.....	41
3.4	Hidrogeología .....	42
CAPÍTULO 4.....		45
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
4.1	Fase I: Recopilación de Información .....	45
4.2	Fase II: Delimitación de las cuencas hidrográficas. Aplicación GIS .....	45
4.3	Fase III: Prospección Geoeléctrica.....	47
4.3.1	SEVs en Manglaralto .....	50
4.3.2	Interpretación de SEVs en Manglaralto .....	53
4.3.3	SEVs en Cadeate .....	54
4.3.4	Interpretación en IPI2WIN de los SEV en Cadeate.....	55
4.3.5	SEVs en Libertador Bolívar.....	56
4.3.6	Interpretación en IPI2WIN de SEVs en Libertador Bolívar.....	57
4.4	Fase IV: Análisis técnico y propuesta de diseño para el nuevo pozo requerido 58	
4.5	Fase V: Análisis de la Siembra y Cosecha de agua en las cuencas hidrográficas 62	
CAPÍTULO 5.....		64
5.	RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS .....	64
5.1	Análisis de las subcuencas hidrográficas administradas por la JAAPMAN mediante aplicación GIS .....	64
5.2	Esquema hidrogeológico mediante interpretación de SEVs y aplicación de software GeoModeller .....	67
5.2.1	Resultados de las Campañas de Geoeléctrica en Cadeate.....	68
5.2.2	Resultados de las Campañas de Geoeléctrica en Libertador Bolívar .....	75
5.2.3	Esquema Hidrogeológico de los Sistemas de Acuíferos.....	81
5.3	Propuesta de Siembra y Cosecha de Agua (SyCA) para los sistemas hidrográficos.....	85

CAPÍTULO 6.....	93
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
Conclusiones.....	93
Recomendaciones.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96
ANEXOS.....	i
ANEXOS-A: Planillas de Campañas de Sondeos Eléctricos Verticales .....	i
ANEXOS-B: Interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales en Cadeate .....	vi
ANEXOS-C: Interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales en Libertador Bolívar .....	xxi
ANEXOS-D: Interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales en Manglaralto .....	xxix

## ABREVIATURAS

ASTGTM	Global Digital Elevation Model
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CE	Calicatas Eléctricas
CEDEGE	Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del río Guayas
CIPAT	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
Fm.	Formación
GIS	Geographic Information System
INAHMI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
JAAPMAN	Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto
JRAPO	Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Olón
JARV	Junta de Agua Regional de Valdivia
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
msnm	Metros sobre el nivel del mar
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
PE	Potencial Espontáneo
PSE	Península de Santa Elena
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SbN	Soluciones Basadas en la Naturaleza
SEVs	Sondeos Eléctricos Verticales
SyCA	Siembra y Cosecha de Agua
3D	Tridimensional
2D	Bidimensional
USGS	United States Geological Survey

## SIMBOLOGÍA

A	Área
AB	Distancia entre electrodos externos
°C	Grados Celsius
°	Grados
'	Minutos
"	Segundos
%	Porcentaje
I	Intensidad de corriente eléctrica
K	Constante geométrica
km	Kilómetros
km <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
L	Longitud
MN	Distancia entre electrodos internos
m	Metros
<i>m</i>	Porosidad
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
$\Delta V$	Diferencia de Potencial
$\rho$	Resistividad
R	Resistencia
$\Omega.m$	Ohmios metro
m/día	Unidad de permeabilidad, metros por día
mm/año	Unidad de precipitación, milímetros por año
S	Coeficiente de almacenamiento
N	Norte
S	Sur
E	Este
O	Oeste
NO	Noreste
SE	Sureste
V	Volumen

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de la problemática, consecuencias y resultados del proyecto.....	5
Figura 1.2. Esquema Metodológico.....	9
Figura 2.1. Ciclo Hidrológico.....	11
Figura 2.2. Clasificación de Meinzer.....	13
Figura 2.3. Empaquetados densos de esferas iguales con el valor de la porosidad total. .....	14
Figura 2.4. Tipos de acuíferos. Na) Nivel piezométrico del acuífero cautivo; Nb) Nivel piezométrico del acuífero libre; 1) Pozo en un acuífero confinado no surgente; 2) Pozo en un acuífero confinado surgente 3) Pozo en un acuífero libre. ....	16
Figura 2.5 Cuña de agua salada. ....	20
Figura 2.6 Ley de Ohm.....	21
Figura 2.7. Configuración Schlumberger. ....	22
Figura 2.8 Arreglo tipo Schlumberger para sondeos eléctricos. ....	22
Figura 2.9. Resistividades eléctricas de algunas rocas. ....	23
Figura 2.10. Fases de construcción del tapes/dique técnico artesanal. ....	27
Figura 2.11. Diagramas de bloques de los diversos diseños de tapes/diques realizados por la JAAPMAN en Manglaralto. ....	27
Figura 2.12. Modelo de Gestión del agua en Manglaralto. ....	28
Figura 3.1. Columna Estratigráfica Progreso/Santa Elena. ....	32
Figura 3.2. Mapa Geológico de la zona de Estudio. ....	36
Figura 3.3. Mapa de Ubicación.....	38
Figura 3.4. Mapa de Zona de Estudio. ....	40
Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de Santa Elena. ....	44
Figura 4.1. Proceso Metodológico para delimitación de cuencas hidrográficas en SIG.	46
Figura 4.2. Proceso Metodológico para definir el orden de los ríos, empleando SIG. ...	46
Figura 4.3. Mapa de Precipitaciones de la Zona de Estudio. ....	47
Figura 4.4. Arreglo tipo Schlumberger para realización de SEVs.....	48
Figura 4.5. Arreglo tipo Schlumberger en campo. ....	49
Figura 4.6. Trabajo de campo en Manglaralto.....	49
Figura 4.7. SEVs en la subcuenca del río Manglaralto.....	51
Figura 4.8. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-42. ....	54
Figura 4.9. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-01. ....	56
Figura 4.10. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-01.....	57
Figura 4.11. Ubicación Geográfica para realización del esquema.....	59
Figura 4.12. Importación de datos en software GeoModeller. ....	60
Figura 4.13. Procesamiento de Información en GeoModeller. a) Digitalización de contactos. b) Visualización de SEVs con exageración de escala vertical 2:1.....	60
Figura 4.14. Proceso de Modelado 3D. ....	61
Figura 4.15. Cálculo de espesor de las formaciones geológicas.....	62
Figura 4.16. Ubicación de los tapes a lo largo del río Manglaralto. ....	63

Figura 5.1 Delimitación de las subcuencas administradas por la JAAPMAN y su orden de drenaje.....	66
Figura 5.2. Ubicación de SEVs en Cadeate. ....	68
Figura 5.3. Correlación de Columnas Litológicas de SEV-CD-03-06-01. ....	72
Figura 5.4. Correlación de Columnas Litológicas de SEV-CD-04-02-05. ....	73
Figura 5.5. Sección de resistividad aparente de los SEVs más alejados a la cuña salina en Cadeate. ....	74
Figura 5.6. Sección de resistividad aparente de los SEVs más cercanos a la cuña salina en Cadeate. ....	74
Figura 5.7. Ubicación de SEVs en Libertador Bolívar.....	75
Figura 5.8. Correlación de Columnas Litológicas de SEV-LB-09-08-07. ....	78
Figura 5.9. Sección de resistividad aparente de los SEVs más alejados a la cuña salina en Libertador Bolívar. ....	79
Figura 5.10. Sección de resistividad aparente de los SEVs más cercanos a la cuña salina en Libertador Bolívar. ....	79
Figura 5.11. Perfiles Geoeléctricos. a) En Cadeate. b) En Libertador Bolívar. ....	80
Figura 5.12. Vista en planta del esquema 3D de la zona de estudio donde se observan las unidades hidrogeológicas. ....	81
Figura 5.13. Vista O-E del Esquema Hidrogeológico 3D de la zona. ....	82
Figura 5.14. Esquema Hidrogeológico 3D de la zona con los SEVs realizados. ....	83
Figura 5.15. Volumen neto de las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio. ....	83
Figura 5.16. Espesor bruto de los aluviales de Cadeate. ....	84
Figura 5.17. Espesor bruto de los aluviales de Libertador Bolívar.....	84
Figura 5.18. Zonas de análisis acorde a los espesores de las unidades hidrogeológicas del sector. ....	87
Figura 5.19. Mapa de Pendientes de la zona de estudio.....	88
Figura 5.20. Ubicación de tape 8 (Zona 3) a construir en la zona de estudio. En a) y b) se observan detalles de los cantos transportados por el río y del material aluvial de la zona.....	90
Figura 5.21. Esquema de Siembra y Cosecha de Agua (SyCA). ....	91
Figura 5.22. Propuesta de SyCA de la zona de Estudio.....	92
Figura 6.1. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-02. ....	vi
Figura 6.2. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-03. ....	vii
Figura 6.3. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-04. ....	viii
Figura 6.4. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-05. ....	ix
Figura 6.5. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-06. ....	x
Figura 6.6. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-07. ....	xi
Figura 6.7. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-08. ....	xii

Figura 6.8. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-09. ....	xiii
Figura 6.9. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-10. ....	xiv
Figura 6.10. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-11. ....	xv
Figura 6.11. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-12. ....	xvi
Figura 6.12. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-13. ....	xvii
Figura 6.13. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-14. ....	xviii
Figura 6.14. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-15. ....	xix
Figura 6.15. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-16. ....	xx
Figura 6.16. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-02. ....	xxi
Figura 6.17. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-03. ....	xxii
Figura 6.18. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-04. ....	xxiii
Figura 6.19. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-05. ....	xxiv
Figura 6.20. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-06. ....	xxv
Figura 6.21. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-07. ....	xxvi
Figura 6.22. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-08. ....	xxvii
Figura 6.23. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-09. ....	xxviii
Figura 6.24. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-43. ....	xxix
Figura 6.25. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-44. ....	xxx
Figura 6.26. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-45. ....	xxxi
Figura 6.27. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-46. ....	xxxii
Figura 6.28. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-47. ....	xxxiii

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Equipos utilizados y su utilidad en el proyecto. ....	10
Tabla 2.1. Valores de Permeabilidad.....	14
Tabla 2.2. Valores de Coeficiente de Almacenamiento (S). ....	16
Tabla 2.3. Tipos de acuíferos según la presión hidrostática.....	17
Tabla 2.4 Tipo de acuíferos por la movilidad de agua. ....	17
Tabla 2.5. Tipos de acuíferos por su litología, textura y ubicación. ....	18
Tabla 2.6 Sitios conocidos de SyCA en Iberoamérica. ....	24
Tabla 2.7 Número de Albarradas inventariadas y su estado de mantenimiento. ....	25
Tabla 3.1 Población aproximada de las comunas en estudio.....	39
Tabla 3.2. Precipitaciones mensuales de la estación Meteorológica de Manglaralto. ...	42
Tabla 3.3. Proyección poblacional y volumen de agua requerido en territorio de la JAAPMAN.....	43
Tabla 4.1. Ubicación de SEVs en Comuna Manglaralto. ....	52
Tabla 4.2. SEVs realizados en Manglaralto en el periodo marzo-abril del 2019.....	52
Tabla 4.3. SEVs realizados en Manglaralto en el periodo julio-diciembre del 2019. ....	53
Tabla 4.4. Capas de resistividad del SEV-MA-42.....	54
Tabla 4.5. Ubicación de SEVs en Comuna Cadeate. ....	55
Tabla 4.6. Capas de resistividad del SEV-CD-01. ....	56
Tabla 4.7. Ubicación de SEVs en comuna Libertador Bolívar. ....	57
Tabla 4.8. Capas de resistividad del SEV-LB-01.....	58
Tabla 4.9 Ubicación de Tapes en Manglaralto. ....	63
Tabla 5.1. Características de las subcuencas de la zona de estudio. ....	65
Tabla 5.2. Clasificación de Pendientes.....	65
Tabla 5.3. Rangos de resistividades medidas y su relación con el tipo de litología. (Capas geoelectricas). ....	67
Tabla 5.4. Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-CD- 03, SEV-CD-06, SEV-CD-01; Cadeate.....	70
Tabla 5.5. Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-CD- 05, SEV-CD-02, SEV-CD-04; Cadeate.....	71
Tabla 5.6. Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-LB- 09, SEV-CD-08, SEV-CD-07; Libertador Bolívar. ....	77
Tabla 5.7. Criterios de campo para selección de zonas a construir tapes/diques. ....	86
Tabla 5.8. Características de las Unidades Hidrogeológicas en la cuenca del río Manglaralto.....	86
Tabla 5.9. Características Geológicas-Geomorfológicas-Hidrogeológicas de la zona de estudio. ....	89
Tabla 5.10. Ubicación de Nuevos Tapes. ....	90
Tabla 6.1. SEVs realizados en la Comuna Manglaralto en el periodo julio-diciembre del 2019. ....	i
Tabla 6.2. SEVs realizados en la Comuna Cadeate.....	ii
Tabla 6.3. SEVs realizados en la Comuna Cadeate.....	iii
Tabla 6.4. SEVs en Comuna Libertador Bolívar. ....	iv
Tabla 6.5. Capas de resistividad del SEV-CD-02. ....	vi
Tabla 6.6. Capas de resistividad del SEV-CD-03. ....	vii



Tabla 6.7. Capas de resistividad del SEV-CD-04.....	viii
Tabla 6.8. Capas de resistividad del SEV-CD-05.....	ix
Tabla 6.9. Capas de resistividad del SEV-CD-06.....	x
Tabla 6.10. Capas de resistividad del SEV-CD-07.....	xi
Tabla 6.11. Capas de resistividad del SEV-CD-08.....	xii
Tabla 6.12. Capas de resistividad del SEV-CD-09.....	xiii
Tabla 6.13. Capas de resistividad del SEV-CD-10.....	xiv
Tabla 6.14. Capas de resistividad del SEV-CD-11.....	xv
Tabla 6.15. Capas de resistividad del SEV-CD-12.....	xvi
Tabla 6.16. Capas de resistividad del SEV-CD-13.....	xvii
Tabla 6.17. Capas de resistividad del SEV-CD-14.....	xviii
Tabla 6.18. Capas de resistividad del SEV-CD-15.....	xix
Tabla 6.19. Capas de resistividad del SEV-CD-16.....	xx
Tabla 6.20. Capas de resistividad del SEV-LB-02.....	xxi
Tabla 6.21. Capas de resistividad del SEV-LB-03.....	xxii
Tabla 6.22. Capas de resistividad del SEV-LB-04.....	xxiii
Tabla 6.23. Capas de resistividad del SEV-LB-05.....	xxiv
Tabla 6.24. Capas de resistividad del SEV-LB-06.....	xxv
Tabla 6.25. Capas de resistividad del SEV-LB-07.....	xxvi
Tabla 6.26. Capas de resistividad del SEV-LB-08.....	xxvii
Tabla 6.27. Capas de resistividad del SEV-LB-09.....	xxviii
Tabla 6.28. Capas de resistividad del SEV-MA-43.....	xxix
Tabla 6.29. Capas de resistividad del SEV-MA-44.....	xxx
Tabla 6.30. Capas de resistividad del SEV-MA-45.....	xxxi
Tabla 6.31. Capas de resistividad del SEV-MA-46.....	xxxii
Tabla 6.32. Capas de resistividad del SEV-MA-47.....	xxxiii

## ÍNDICE DE ECUACIONES

2.1 .....	13
2.2 .....	20
2.3 .....	21
2.4 .....	21
2.5 .....	22
5.1 .....	85
5.2 .....	85

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Preámbulo

En la actualidad, el agua representa una de las mayores preocupaciones de la sociedad, ya sea por el riesgo de escasez mundial, así como también por el incremento en el déficit de su calidad y la falta de igualdad en cuanto a la accesibilidad a este recurso vital. Así mismo, el agua constituye una cuestión política y geoestratégica de mucha importancia, porque se vincula a la subsistencia de la humanidad y su potencial desarrollo. La escasez del agua se debe a diversos factores, entre ellos: el desperdicio, el crecimiento poblacional, la contaminación, la mala gestión del recurso y la destrucción de los ecosistemas acuíferos. Como consecuencias principales se tiene que el 50% de los ríos del mundo se encuentran contaminados y que gran parte de los conflictos políticos internacionales son causados por el control de recursos hídricos. (Navarro, 2004)

Los alarmantes desafíos en cuanto a la contaminación del agua a nivel mundial y el deterioro en su calidad provocan riesgos tanto en la salud humana como en los ecosistemas, consecuentemente disminuyen la disponibilidad de los recursos de agua dulce destinados a las necesidades humanas y la capacidad de los ecosistemas vinculados con el agua que generen bienes y servicios, que incluyen la purificación natural del recurso en cuestión (WWAP, 2018). Otro aspecto de actual preocupación es el incremento en los niveles de salinidad y de las temperaturas del agua y el aire que pueden ocasionar impactos significativos (UNEP, 2016). Por otro lado, aproximadamente entre el 64 y el 71% de la extensión de humedales de agua dulce se ha perdido desde 1900, lo cual genera gran preocupación ya que estos filtran y mejoran la calidad del agua. (Davidson, 2014)

La incorrecta gestión de las aguas residuales ya sean municipales y/o industriales se ha convertido en una fuente significativa de contaminación del agua (UNESCO, 2015), en especial en los países de bajos ingresos, donde únicamente el 8% de este tipo de aguas residuales son sometidas a algún tipo de tratamiento (Sato, Qadir, Yamamoto, Endo, & Zahoor, 2013).

En este sentido, a pesar de que el agua es un recurso abundante en el planeta, el caso del agua dulce es lo opuesto, ya que, del 100% de toda el agua del planeta, sólo el 2.5% representa el agua dulce. De dicho porcentaje, el 68.9% se encuentra en estado sólido, en un 96% en las regiones polares y el 4% restante en las zonas glaciales de regiones montañosas. Así mismo, el 30.8% restante del agua dulce es agua subterránea, pero, en la superficie que comprende: los lagos, lagunas, reservas artificiales y los ríos sólo se acumula el 0.1% del volumen del agua dulce que es accesible al hombre, lo que significa un 0.01% de toda el agua sobre la tierra. (Diop & Rekacewicz, 2003)

Todos los factores que influyen en la escasez del agua han ocasionado una inestabilidad en cuanto a la seguridad hídrica que ofrecían las fuentes de agua dulce del planeta (Castro et al.,2020) . Es por esto, que bajo este nuevo escenario se requieren nuevos enfoques en la gestión del agua que no se fundamenten únicamente en el uso de la infraestructura gris (física/construida), sino que se empiece a trabajar con Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) que plantean una gestión de este recurso integrando los sistemas ecológicos e hidrológicos, asegurando así la sostenibilidad de los sistemas hídricos (WWAP, 2018).

Esta nueva propuesta de gestionar el agua se ha venido aplicando desde miles de años atrás, conocida como Siembra y Cosecha de Agua (SyCA), que es el proceso mediante el cual el ser humano acumula e infiltra (siembra) el agua de lluvia, escorrentía superficial, hipodérmica y subterránea en el subsuelo para poder recuperarla (cosecharla) en un cierto tiempo (Sprenger et al., 2017).

El presente proyecto comprende las subcuencas de los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar, que constituyen la cuenca hidrográfica media-baja de la parroquia Manglaralto, perteneciente a la provincia de Santa Elena. En dicho sector se han registrado constantes problemas de déficit de agua, mayormente evidenciados en épocas secas por encontrarse en una zona semiárida con ríos intermitentes o estacionales, es decir, que sólo llevan agua en la época invernal y debido también a la alta demanda del suministro de agua.

A lo antes mencionado se le adiciona el descontento en los comuneros, la evidencia de intrusión salina por el descenso de los niveles piezométricos en los pozos de agua a causa de la sobreexplotación de estos. Además, el incremento de la población flotante (turistas) provoca el aumento en la demanda de agua, razón por lo cual, no se logra

abastecer de agua a la población. Esta falta del recurso genera pérdidas económicas en los principales sectores productivos como el sector turístico y agrícola. Es por esto, la necesidad de realizar un estudio donde se genere un Plan de Gestión Integral de las Cuencas Hidrográficas ubicadas en el territorio de la “Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto” (JAAPMAN) que incluya la aplicación de criterios de sostenibilidad del acuífero del sector y así poder recomendar los lugares estratégicos a construir nuevos pozos y tapes (diques) que garanticen el cumplimiento de la demanda de agua en el sector.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las condiciones hidrogeológicas de los ríos asociados a la cuenca Manglaralto (Cadeate, Simón Bolívar y Manglaralto), mediante un análisis geológico, geofísico e hidrogeológico con aplicación de técnicas ancestrales de Siembra y Cosecha de Agua (SyCA) para una gestión integral del recurso en el sector. Esto se realizará a través de la aplicación de técnicas de rescate ancestral en el contexto de SyCA y geofísica en la zona de estudio que permite conocer a que profundidad encontrar agua subterránea y así recomendar zonas estratégicas para la futura construcción de pozos de agua.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Una buena gestión de los recursos hídricos tiene un rol transcendental en el desarrollo social y económico de América Latina y el Caribe, debido a que las áreas con mayor actividad económica presentan poca disponibilidad de agua (Peña, 2016). Siendo así que, en las zonas rurales de América Latina, el agua es suministrada parcial o totalmente por el agua subterránea, estimándose una menor cantidad de fuentes de agua en las zonas rurales respecto a las urbanas (Domínguez, Torres-López, Restrepo-Tarquino, Paterson, & Gowing., 2016). En el caso particular de la parroquia rural de Manglaralto, se estima que el 92.67% de los hogares obtienen agua dulce por pozos, un 3.34% por el camión de reparto de agua, 2.26% de agua de lluvia y el 2.26% restante por albardas y ríos, en contraste al promedio nacional en Ecuador, donde el 45.92% de las áreas rurales se abastece de agua dulce por una compañía de agua pública, el 24.87% por ríos, 22.97% por pozos (aguas subterráneas), 3.16% por albardas y agua de lluvia y 3.08% por los camiones de distribución de agua (INEC, 2010).

Cabe recalcar que la parroquia Manglaralto no tiene una compañía pública de agua, por

tal razón, su principal fuente de agua es el agua subterránea, obtenida del acuífero costero del mismo nombre, donde la Junta Administradora del Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN) es la encargada de proporcionar agua dulce a los hogares en Manglaralto mediante redes de tuberías. Sin embargo, la disponibilidad de agua es limitada, por lo que no logra satisfacer la demanda de agua que requiere la población y las actividades económicas del sector (Herrera, 2016). El acuífero costero de Manglaralto se encuentra en peligro de agotamiento debido a la sobreexplotación que ha sido sometido y a su vez por escasez de lluvias, lo que ocasiona disminuciones en el nivel freático de los pozos de los cuales se extrae el agua y su salinización, amenazando la calidad y disponibilidad de agua para consumo humano. Otros agentes que han interferido en esta problemática son: el incremento de la demanda de agua a causa del desarrollo turístico del sector, aumento en la construcción de áreas urbanizadas para vivienda y el avance de la frontera agrícola (Arévalo, 2017).

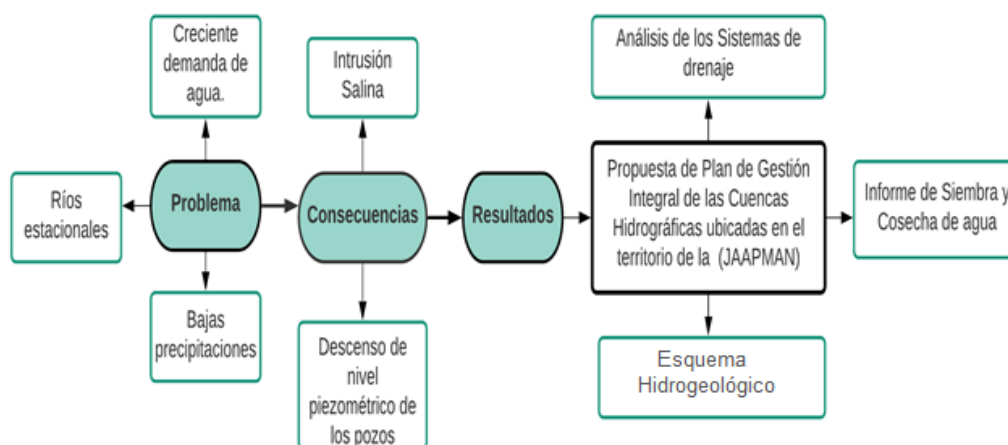
Atendiendo a esta problemática, desde el año 2005, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) mediante el trabajo conjunto del Centro de Investigación Aplicada de Ciencias de la Tierra, (CIPAT-ESPOL) y la JAAPMAN se han establecido posibles soluciones para incrementar la disponibilidad de agua en Manglaralto; ya que cuenta con el potencial de desarrollar formas sostenibles de vivir y trabajar en las comunidades (Shiel, Filho, Paco, & Brandli., 2016) (CIPAT-ESPOL, 2015).

La presente investigación plantea un correcto aprovechamiento del agua captada por las subcuencas de los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar que es principalmente almacenada por el acuífero costero de Manglaralto. Como medida de sostenibilidad de dicho acuífero se propondrá zonas para la construcción de nuevos pozos y tapes como técnica de rescate ancestral, que se basan en la siembra y cosecha de agua.

La siembra la realizan los tapes ya que aumentan y prolongan la infiltración, consiguiendo un óptimo uso del agua, no sólo en los meses de mayor precipitación, sino durante todo el año. Por otro lado, la cosecha se relaciona con la variación del nivel del agua, a mayor producción, más agua y por más tiempo, lo cual se ve reflejado en los pozos. Además, es importante tener en cuenta que la construcción de estos tapes se lo hace en base a criterios de campo, bajo la aplicación de campañas de geoelectrica que ayuden a determinar los lugares estratégicos de agua subterránea en la zona para

de esta manera mejorar la gestión integral del agua en el sector. Un esquema resumido de la problemática de la presente investigación se resume en la Figura 1.1

¿Es posible en base a estudios hidrológicos el planteamiento de reformas o adaptaciones en la gestión del recurso agua en la misión de la JAAPMAN en Manglaralto?, ¿Es factible en la práctica que la JAAPMAN mediante procesos participativos y técnicos pueda cumplir la demanda creciente, a pesar de las limitaciones geográficas y climáticas?



**Figura 1.1. Esquema de la problemática, consecuencias y resultados del proyecto.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 1.3 Justificación del problema

La constitución del Ecuador del 2008 es la primera en reconocer explícitamente al agua como un derecho humano fundamental, manifestando la importancia del recurso, lo cual concuerda con la realidad geográfica del país, así como la significativa presencia de agua, sobresaliendo por su hidrología y grandes cauces a lo largo y ancho del país. En el art. 3, numeral primero, se establece: “Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua para sus habitantes” y posteriormente se desarrolla en el artículo 12, refiriéndose a los Derechos del Buen Vivir: “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable.

El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”. Para el año 2010, la Organización de Naciones Unidas (ONU), a través de la Asamblea General, reconoce el derecho al

agua potable y al saneamiento ambiental como un derecho humano fundamental, el cual debe ser disfrutado a plenitud para el desarrollo de la vida y del resto de derechos humanos, resolución adoptada para asegurar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), en el periodo 2000-2015, en especial los que tienen relación con el agua, estos son: la erradicación de la pobreza extrema y el hambre; reducción de la mortalidad de los niños menores de 5 años; mejorar la salud materna; el combate del VIH, la Malaria y otras enfermedades; y, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente (Martínez, 2017).

El uso sostenible de los recursos comprende intersectorialmente los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, de igual forma que la disponibilidad de agua, ya que, si no hay suficiente agua, gran parte del progreso económico y social estaría limitado. Es así como, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para la disponibilidad de agua aportan a todas las metas del ODS 6 que afirma: “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”, que equivale a los beneficios mejorados de la disponibilidad de agua en general. No obstante, existen diversos enfoques para administrar la disponibilidad de agua, inclusive mediante la gestión del lado de la demanda, la mejora de la calidad del agua y la reutilización y la mejora de la infraestructura gris, además de las SbN. (WWAP, 2018)

Generalmente, el agua es suministrada a través de tuberías que es el método más económico para proveer de agua a las zonas densamente pobladas, pero existen lugares donde el acceso al recurso es limitado o no se cuenta de redes de tuberías, entonces las personas dependen primariamente de pozos o sistemas de suministro de agua comunitarios (quioscos y expendedores o camiones cisterna). En este último caso, frecuentemente pagan precios muy elevados por un agua de baja calidad, enfatizando las incongruencias entre los ricos y los desfavorecidos (WWAP, 2019).

Respondiendo a la necesidad de agua que presenta la parroquia Manglaralto, ocasionada por el cambio climático y otros agentes mencionados anteriormente, se constituyó la Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN) como empresa comunitaria, con la finalidad de gestionar la cuenca media y baja del río Manglaralto que se encarga de suministrar agua a una parte de dicha parroquia. Sin embargo, el acuífero costero de Manglaralto es la única fuente de agua



para las comunidades rurales de Montañita, Cadeate, Libertador Bolívar, Río Chico, San Antonio y la cabecera parroquial Manglaralto se encuentra en peligro de agotamiento a causa de: sobreexplotación, bajas precipitaciones en época seca, crecimiento poblacional, potenciación del comercio y turismo en el sector y, por último, la evidencia de intrusión salina. Es por esto, que se considera importante formular medidas para la sostenibilidad del recurso tomando en cuenta que la población necesita de agua diariamente para los quehaceres individuales en sus hogares y es un recurso fundamental para el desarrollo de las actividades económicas que se desarrollan en la zona (Herrera, 2015).

El presente proyecto: “Gestión Integral de las Cuencas Hidrográficas con uso conjunto de agua superficial y subterránea aplicando Sistema de Siembra y Cosecha de Agua, en Manglaralto-Santa Elena-Ecuador” es de gran importancia ya que aportaría con el conocimiento de las características de las subcuencas hidrográficas de la zona. Además, con la interpretación de estudios geofísicos y de las geometrías de los sistemas de acuíferos se emitiría criterios para la ubicación de nuevos pozos de agua y, finalmente se generaría una propuesta basada en la siembra y cosecha de agua que contribuiría en la correcta gestión del recurso agua en el sector, ayudando así con los problemas de sobreexplotación del acuífero y la constante demanda de agua.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar las condiciones hidrogeológicas de los ríos asociados a la cuenca Manglaralto (Cadeate, Simón Bolívar y Manglaralto), mediante un análisis geológico, geofísico e hidrogeológico con aplicación de técnicas ancestrales de siembra y cosecha de agua para una gestión integral del sector.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar el sistema de las cuencas hidrográficas administradas por la JAAPMAN, mediante procesamiento en GIS para el conocimiento de sus características y potencialidades.
- Establecer un esquema hidrogeológico a través del procesamiento de SEVs y aplicación de software GeoModeller para el análisis de ubicación de posibles nuevos pozos e interpretación de las geometrías de los sistemas de acuíferos.

- Diseñar una propuesta de siembra y cosecha de agua (SyCA) de los sistemas hidrográficos mediante la aplicación de técnicas artificiales de recolección de agua para una gestión sostenible.

## 1.5 Metodología General

La metodología que se aplicará en el presente estudio está comprendida de cinco fases de investigación que se detallan a continuación:

**Fase I.-**Síntesis de la Información: Esta fase consiste en la búsqueda de información como mapas geológicos, topográficos, tesis de grado, artículos científicos e informes técnicos realizados en la zona de estudio.

**Fase II.-** Análisis general de las cuencas hidrográficas, sus divisiones, drenajes, climatología mediante la aplicación de Sistemas de Información geográfica (GIS, acrónimo en español): Esta fase incluye la delimitación de las cuencas con sus límites y su orden. Además, en INAMHI se obtendrá datos de precipitaciones y clima para una correcta configuración de cuenca, subcuenca.

**Fase III.-**Prospección Geoeléctrica aplicada en los 3 principales ríos asociados a los acuíferos costeros: Consiste en la interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs) en la zona de estudio que abarca las comunas Manglaralto, Libertador Bolívar y Cadeate obtenidos tanto en estudios anteriores como recopilados y tratados a través del programa IPI2Win.

**Fase IV.-**Análisis técnico y propuesta de diseño para el nuevo pozo requerido: Abarca la correlación de los resultados e interpretaciones de la prospección geoeléctrica y la aplicación del software GeoModeller en las comunas Libertador Bolívar y Cadeate para realizar la recomendación técnica de donde construir nuevos pozos de agua respondiendo a la solicitud de la JAAPMAN.

**Fase V.-**Análisis de la Siembra y Cosecha de agua en las cuencas hidrográficas como agente regulador de la misma: Consiste en la generación de una propuesta de siembra y cosecha de agua mediante técnicas de rescate del conocimiento ancestral.

En la Figura 1.2 se resume la metodología que se aplicará en el presente estudio.

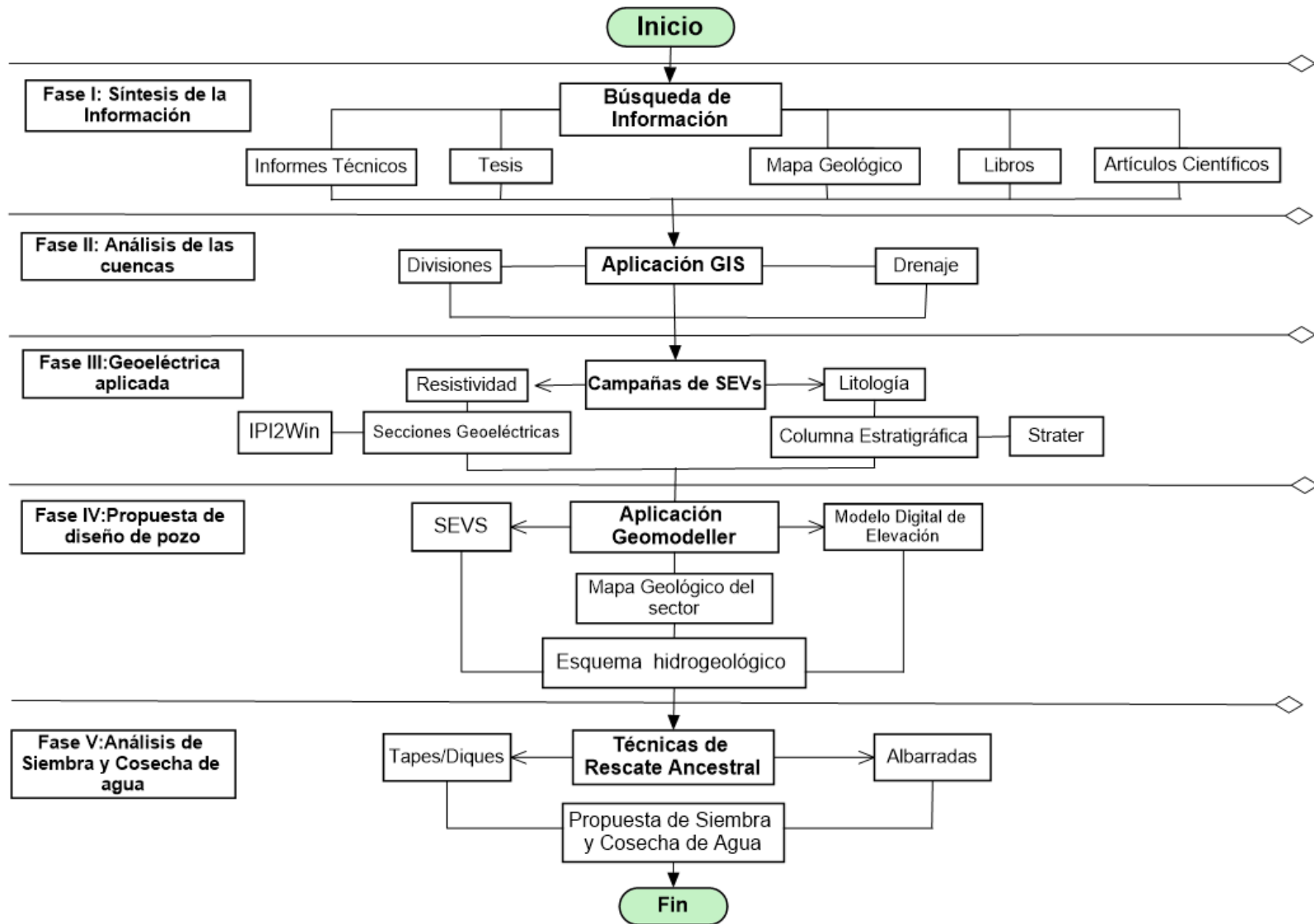


Figura 1.2. Esquema Metodológico.

Fuente: Elaboración propia

### 1.5.1 Recursos

En la Tabla 1.1 se describen los equipos y softwares que se utilizarán para el proyecto y que en su mayoría han sido facilitados por CIPAT-ESPOL.

**Tabla 1.1. Equipos utilizados y su utilidad en el proyecto.**

Equipos y su utilidad			
#	Equipo	Imagen	Utilidad
1	Terrameter SAS 1000		Sondeos eléctricos verticales
2	Equipamiento de campo		Protección del geólogo
3	Martillo geológico Navegador Brújula		Toma de datos y coordenadas en campo
4	Strater (licencia: ST-017777-1649)		Realizar las columnas estratigráficas y su correlación
5	Software ArcGIS (ESPOL)		Realizar mapas temáticos
6	IPI2Win		Interpretación de SEVs
7	RECMIN (libre acceso)		Elaboración de perfiles geoelectricos
8	Laptop Intel Core i7, Windows 10, sistema operativo 64 bits		Procesamiento de datos, realización del documento final.
9	GeoModeller (CIPAT-ESPOL) Licencia Temporal		Realizar modelo geométrico de las comunas Cadeate y Libertador Bolívar.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Ciclo Hidrológico

El agua en la naturaleza se presenta en un constante dinamismo, en el cual se definen varias fases que posteriormente generan un ciclo por su forma de enlazarse, debido a que su comienzo se da donde en un futuro finalizará (Maderey & Jiménez, 2005).

El ciclo hidrológico hace referencia a la circulación general del agua en la tierra y se define como una sucesión de fases que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y retornar a la atmósfera, este proceso incluye la evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y finalmente reevaporación (Aranda, 1998). A continuación, se muestra una representación del ciclo hidrológico (ver Figura 2.1)

Este proceso tiene como fuerza motriz, la radiación solar que constituye el soporte básico para que se de origen a la producción biológica primaria. Además, proporciona la cantidad de agua requerida para la asimilación del carbono y juega un papel esencial en el aporte de nutrientes y su transporte. Es importante señalar que el ciclo hidrológico es el responsable de las condiciones favorables de temperatura que predominan en la Tierra mediante su vínculo con el ciclo atmosférico global (Mook & Custodio, 2002).

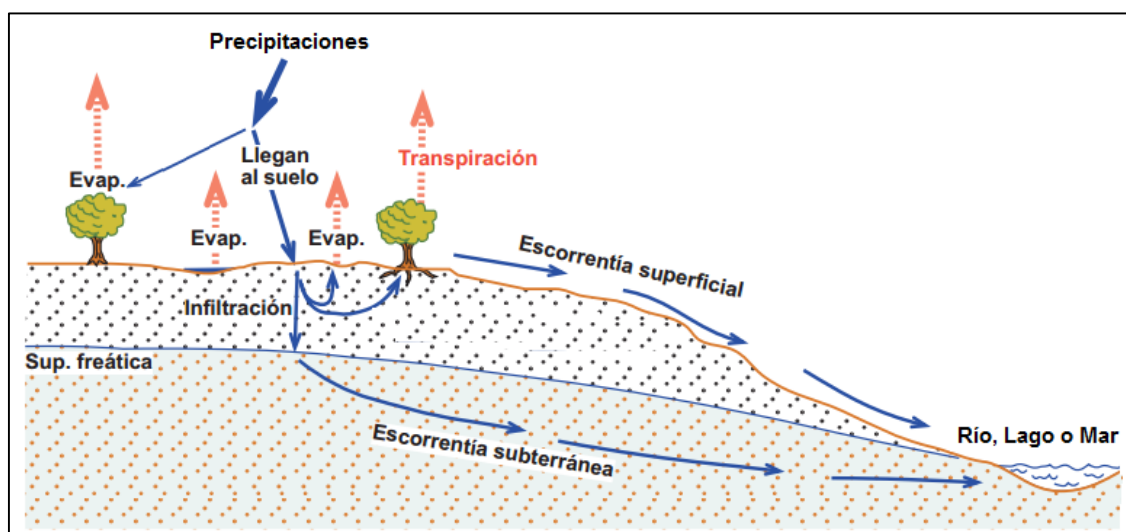


Figura 2.1. Ciclo Hidrológico.

Fuente: Adaptado de (Valencia, 2017) (Sánchez Román, 1997)

La atmósfera comprende al agua en forma de vapor y de nube que procede, casi totalmente del agua evaporada en el mar. Esta humedad es transportada, por los diversos sistemas de vientos, hacia los continentes en donde se precipita en forma líquida, sólida o de condensación. Durante la precipitación, el agua puede iniciar su retorno hacia la atmósfera, porque en su caída se evapora y una parte de ella no llega al suelo; otra parte, al caer sobre las plantas, queda interceptada en las superficies vegetales desde donde una parte se evapora y regresa a la atmósfera y otro escurre hacia el suelo y se infiltra. El agua que cae directo al suelo es la que recorrerá el ciclo hidrológico como tal; una parte de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas (ríos, lagos, lagunas, presas, entre otros), otra parte circulará por la superficie generando la escorrentía que llega a los cauces de los ríos y, a través de éstos, al mar.

Una parte de la que se precipitó en la tierra se evapora directamente desde el suelo, otra por infiltración, satisface la humedad del suelo y cuando lo satura produce el flujo subsuperficial que también llega a los cauces de los ríos; de esta manera, por percolación llega a los mantos de agua subterráneos y mediante del flujo subterráneo alimenta el caudal base de los ríos. El agua que se infiltra en el suelo puede volver a la superficie en forma de manantiales en escenario próximo tanto geográfica como temporalmente o, lo opuesto, profundizar y tener grandes recorridos y de larga duración hacia el mar o depresiones endorreicas, en esta fase subterránea del ciclo. Finalmente, desde la superficie del mar y desde el resto de las superficies líquidas existe otra fase de evaporación que da por terminado el ciclo hidrológico (Maderey & Jiménez, 2005).

## **2.2 Parámetros Hidrogeológicos importantes**

### **2.2.1 Porosidad**

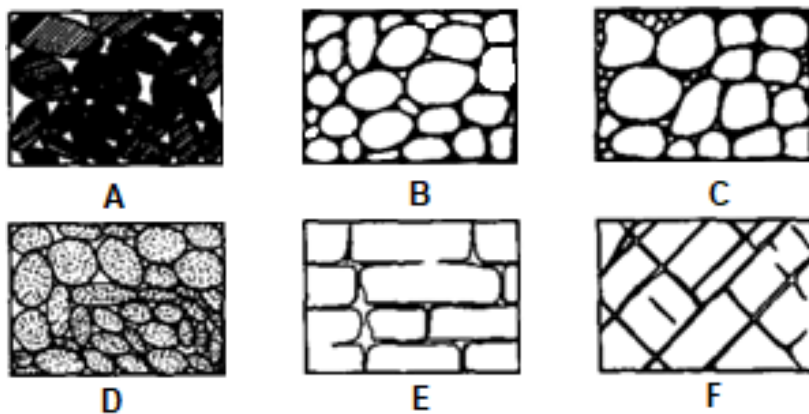
La porosidad de un material se expresa bajo la relación entre el volumen de la parte vacía u rellena de aire y/o agua y su volumen total. Cabe mencionar que el tipo de empaquetado de las partículas que constituyen una roca determina el tipo de poro, y a su vez la porosidad total (Custodio & Llamas, 1983). Considerando un cierto volumen de una muestra ya sea de roca o suelo se puede apreciar lo siguiente ver ecuación 2.1:

- Volumen de la parte sólida: ( $V_s$ )
- Volumen de, huecos: ( $V_v$ )
- Volumen total: ( $V_t = V_v + V_s$ )

Donde, la porosidad sería:

$$m = \frac{V_v}{V_t} \quad 2.1$$

A continuación, se enuncia la clasificación de Meinzer que relaciona la estructura de las rocas con su porosidad como se observa en la (Figura 2.2), ordenadas de la siguiente manera:



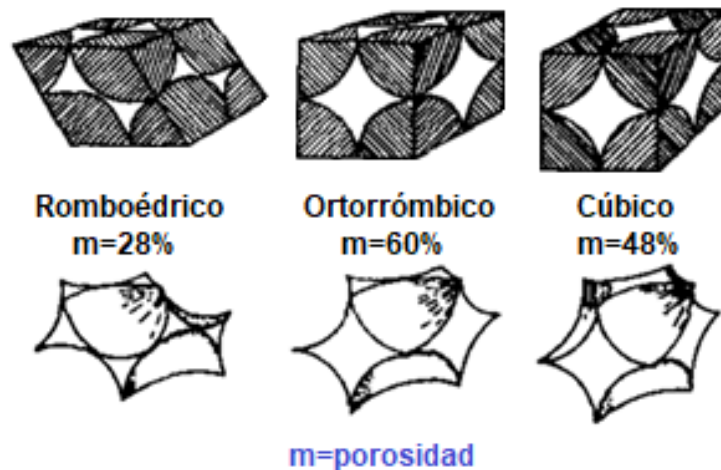
**Figura 2.2. Clasificación de Meinzer.**

**Fuente: (Custodio & Llamas, 1983)**

- A. Depósito sedimentario de granulometría homogénea y gran porosidad.
- B. Depósito sedimentario de granulometría homogénea cuya porosidad ha disminuido por cementación de sus intersticios con materias minerales.
- C. Depósito sedimentario de granulometría heterogénea y escasa porosidad.
- D. Depósito sedimentario de granulometría homogénea, formado por elementos que a su vez son porosos; por lo tanto, porosidad muy elevada.
- E. Roca porosa por disolución, suele presentarse en calizas, yesos, entre otros.
- F. Roca porosa por fracturación.

Diversos factores intervienen en la porosidad, de los cuales se destaca los siguientes:

- **Forma de los granos:** determina la forma y dimensiones de los poros.
- **Disposición de los granos:** hay seis agrupaciones de un mismo tamaño de grano (ver Figura 2.2).
- **Tamaño del grano:** su influencia en la porosidad es físicamente observable, ver Figura 2.3.



**Figura 2.3. Empaquetados densos de esferas iguales con el valor de la porosidad total.**

**Fuente: Modificado de: (Custodio & Llamas, 1983)**

### 2.2.2 Permeabilidad o conductividad hidráulica

Definido también como coeficiente de permeabilidad (K) que es el caudal que pasa por una sección unidad del acuífero bajo un gradiente también unidad, a una temperatura establecida. Los factores que determinan la permeabilidad pueden ser intrínsecos que son los propios del acuífero y dependen del tamaño de los poros, así como también factores extrínsecos que son aquellos que dependen del fluido y son principalmente la viscosidad y el peso específico. Para tener una idea de los valores numéricos de este parámetro se lo resume en la Tabla 2.1.

La profundidad a la que se registra agua subterránea depende de la topografía, el terreno y el clima. En este sentido, el almacenamiento total de agua subterránea en una formación depende de la porosidad y la facilidad del agua subterránea para fluir depende de la permeabilidad que en si consiste en la combinación entre la conectividad y el tamaño de poro (Mook & Custodio, 2002).

**Tabla 2.1. Valores de Permeabilidad.**

**Fuente: (Custodio & Llamas, 1983)**

Permeabilidad (m/día)	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$
Tipología de terreno	Grava limpia		Arena limpia: mezcla de grava y arena.			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas.			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres			Acuíferos impermeables		
Capacidad de drenaje	Buena capacidad de drenaje					Mala capacidad de drenaje			No drenan		



### 2.2.3 Coeficiente de almacenamiento

Al bombear agua de un pozo, el agua que proviene del acuífero se da a través de uno de estos dos sistemas: drenaje de los poros de este para el caso de acuíferos libres o de los pequeños efectos elásticos del almacén físico del acuífero y la propia elasticidad del agua, que es la única manera de extraer agua en un acuífero cautivo (Custodio & Llamas, 1983).

Para el caso de los acuíferos libres, el agua se deriva del vaciado físico, del agua gravífica contenida en el acuífero. En este sentido, el volumen del agua alcanzado por el volumen concordará con la porosidad eficaz de la zona saturada. En el caso de un acuífero cautivo el mecanismo es muy diferente y más complicado respecto al anterior debido a que influyen otro tipo de acciones. El agua que se extrae de los poros se dilata por descompresión suministrando una cantidad de agua; no obstante, la presión intersticial del agua en el terreno decrece, teniendo como resultado la expulsión de un poco de agua, para enfrentar a la presión constante del terreno sobre el acuífero, disminuyendo un poco el espesor de este por los efectos elásticos del acuífero en cuestión apreciado en conjunto.

En conclusión, se puede definir al coeficiente de almacenamiento como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección equivalente a la unidad y de la misma altura del acuífero saturado si se genera un descenso en la unidad del nivel piezométrico o de carga hidráulica. Los valores de este parámetro que es representado con la letra S varían según el tipo de acuífero, adquiere valores entre 0.05 a 0.30 en acuíferos libres y de  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  para acuíferos cautivos. A continuación, en la Tabla 2.2 se adjunta los valores del coeficiente de almacenamiento.

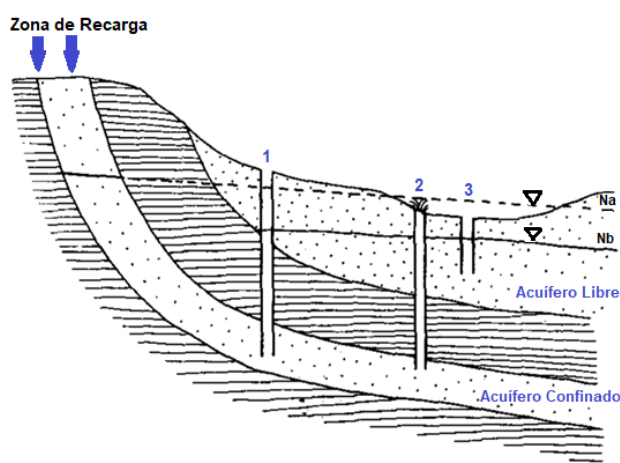
**Tabla 2.2. Valores de Coeficiente de Almacenamiento (S).**

**Fuente: Adaptado de (Villanueva & Iglesias, 1984)**

Tipo de Material Permeable	Forma de funcionamiento del acuífero	Valores medios de S	
<b>Kársticos:</b> -Caliza y dolomías (Jurásico)	Libre	$2 \times 10^{-2}$	
	Semiconfinado	$5 \times 10^{-4}$	
	Confinado	$5 \times 10^{-5}$	
	-Caliza y dolomías (Cretácico y Neógeno)	Libre	$2 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2}$
		Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$
		Confinado	$10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$
<b>Poroso Intergranular:</b> -Gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$	
	Semiconfinado	$10^{-3}$	
	Confinado	$10^{-4}$	
<b>Kársticos y Porosos:</b> -Calcarenitas marinas (Neógeno)	Libre	$15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$	

### 2.2.4 Tipos de Acuíferos

Existen diversos tipos de acuíferos, según la presión del agua contenida en los acuíferos, puede hablarse de: acuíferos libres, acuíferos confinados o acuíferos semiconfinados como se muestra en la Figura 2.4 y Tabla 2.3.



**Figura 2.4. Tipos de acuíferos. Na) Nivel piezométrico del acuífero cautivo; Nb) Nivel piezométrico del acuífero libre; 1) Pozo en un acuífero confinado no surgente; 2) Pozo en un acuífero confinado surgente 3) Pozo en un acuífero libre.**

**Fuente: Adaptado de (Custodio & Llamas, 1983).**

**Tabla 2.3. Tipos de acuíferos según la presión hidrostática.**

**Fuente: Adaptado de (Sánchez & Basán, 2013)**

<b>Acuífero libre</b>	Es el primer manto saturado o también denominado capa freática, donde el agua está a presión atmosférica. Se asientan sobre un manto impermeable y están más propensos a contaminaciones bacteriológicas. Además, su calidad química depende de las particularidades de los suelos que son atravesados para su recarga.
<b>Acuífero cautivo o confinado</b>	Aquel en que el agua está sometida a una presión mayor a la atmosférica. Por lo cual, al efectuar una perforación, el agua asciende a un nivel superior al del techo del acuífero. Si el agua llega a superficie se lo llama surgente, caso contrario, semisurgente.
<b>Acuífero semiconfinado</b>	Presenta condiciones similares al acuífero confinado, con la particularidad que su base y techo no son totalmente impermeables (acuitardo), por lo que puede llegar a recibir recarga o perder agua.

Los acuíferos según la movilidad del agua se clasifican en acuífero, acuícludo, acuitardo y acuífugo como se resume en la (Tabla 2.4).

**Tabla 2.4 Tipo de acuíferos por la movilidad de agua.**

**Fuente: Adaptado de (Custodio & Llamas, 1983).**

<b>Acuífero</b>	Formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades. El agua encerrada en una formación geológica cualquiera (gravas de un río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas) puede estar ocupando ya sea los poros o vacíos intergranulares que presenta la misma, ya sean las fracturas, diaclasas o grietas que también pueden darse.
<b>Acuícludo</b>	Formación geológica que, conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación no la transmite y por lo cual no es posible su explotación. Dentro de esta categoría se incluyen los cienos y légamos (arcillas por lo general) de origen deltaico y/o de estuario, que a pesar de poseer enormes cantidades de agua (mayores al 50 % en volumen) no son hidrogeológicamente aptos para la construcción de captaciones de aguas subterráneas.
<b>Acuitardo</b>	Existencia de numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones, pero, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos. Por ejemplo, un nivel de arcillas limosas o arenosas puede comportarse como un acuitardo, si está dispuesto encima o debajo de un acuífero más importante, al cual puede recargar, o incluso recibir agua de éste.

<b>Acuífugo</b>	Formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como, por ejemplo, un macizo granítico no alterado, o unas rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación.
-----------------	---

Existe otra clasificación de los acuíferos según su litología, textura y ubicación como se describe en la Tabla 2.5 a continuación.

**Tabla 2.5. Tipos de acuíferos por su litología, textura y ubicación.**

**Fuente: Adaptado de: (Vélez, 1999) (Bellino, 2012)**

<b>Según Litología</b>	
<b>Detritos</b>	Constituido por sedimentos de las rocas que se forman por acción de la diagénesis, meteorización o erosión.
<b>Carbonatados</b>	Son rocas sedimentarias compuestas primariamente por minerales de carbonato cálcico o de otros carbonatos.
<b>Según Textura</b>	
<b>Poroso</b>	El agua se empapa como en una esponja dentro de poros interconectados entre sí. Como es el caso donde hay arena y grava.
<b>Fisurado o karstificado</b>	El agua está en grietas o juntas interconectadas, pero el agua se comporta heterogéneamente.
<b>Según Ubicación</b>	
<b>Costero</b>	Se localizan en las zonas litorales o costeras en contacto hidráulico directo con el mar.
<b>Continental o interior</b>	Aquel que no tiene ningún contacto con el agua de mar.

### **2.2.5 Acuíferos Costeros**

Es una formación geológica que puede almacenar y transmitir agua, pero con la peculiaridad que está vinculada hidráulicamente con el mar, y en muchos casos uno de sus límites suele estar relacionado hidráulicamente con otros acuíferos del interior. Razón por la cual, se consideran como el último eslabón en el ciclo natural del agua, en su variante subterránea, ya que recogen agua de otros acuíferos, de aguas superficiales o de lluvia, para retornarla finalmente al mar. Los acuíferos costeros se clasifican en dos tipos: detríticos y carbonatados.

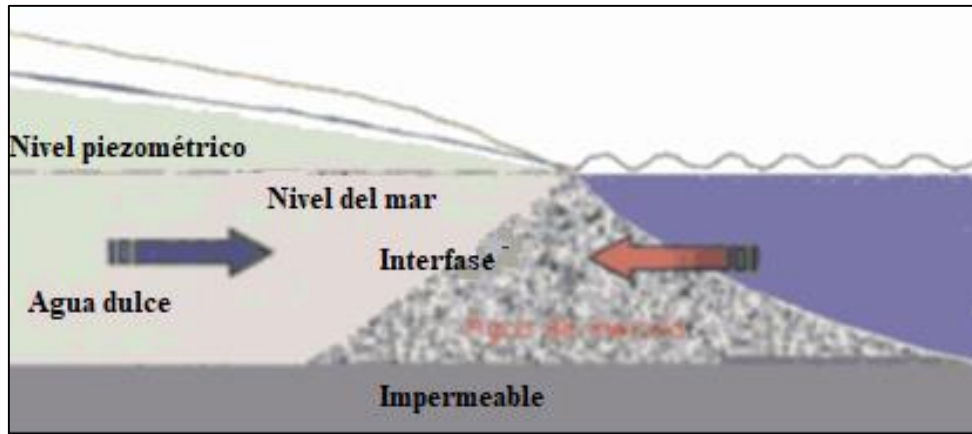
Existe otro tipo de acuíferos menos frecuente, constituido por plataformas volcánicas, consistentes en rocas efusivas porosas y permeables con una morfología sensiblemente llana. Dentro de los acuíferos detríticos costeros se distinguen los siguientes, acorde a

su morfología (López & Juan Gómez, 2007): deltas, aluviales costeros, llanuras y piedemontes costeros. Todos ellos están constituidos principalmente por capas alternantes de gravas, arenas, limos y arcillas, con diferente geometría y continuidad espacial.

### **2.3 Intrusión Salina**

Al cambiar las condiciones naturales, ya sea por el aumento en el flujo de agua dulce por fuertes lluvias o recargas artificiales o bien por la reducción de dicho flujo a causa, mayormente de bombeos en el acuífero como tal, se tiene como resultado un desplazamiento en un sentido u otro del equilibrio entre agua dulce-agua salada. Este último caso hace referencia a la intrusión salina debido a que, al extraer el agua subterránea disminuye el flujo de agua y, por ende, el agua de mar invade el continente. Este proceso de contaminación del acuífero es ocasionado por la intervención humana y se tiene como resultado el deterioro de grandes volúmenes de agua por el gran aumento de la salinidad (Morell & Hernández, 2000).

Los acuíferos costeros se caracterizan por presentar dos fases físico-químicas distintas que coexisten, estas son: agua dulce y agua salada. Al ser fluidos de diferentes propiedades como densidad, viscosidad, temperatura y composición química tienen una interfase que las separa. Sin embargo, dicha interfase no es neta a causa de la miscibilidad que existe entre el agua dulce y el agua salada, más bien se genera una zona de mezcla, con un ancho variable y depende estrictamente de los cambios en los niveles piezométricos, el espesor del acuífero y la permeabilidad (Custodio & Llamas, 1983). Dicho esto, en condiciones estacionarias normales, la masa de agua salada toma la forma de cuña, se apoya en la base del acuífero con vértice en dirección a tierra adentro como se observa en la Figura 2.5.



**Figura 2.5 Cuña de agua salada.**

**Fuente: (Morell & Hernández, 2000)**

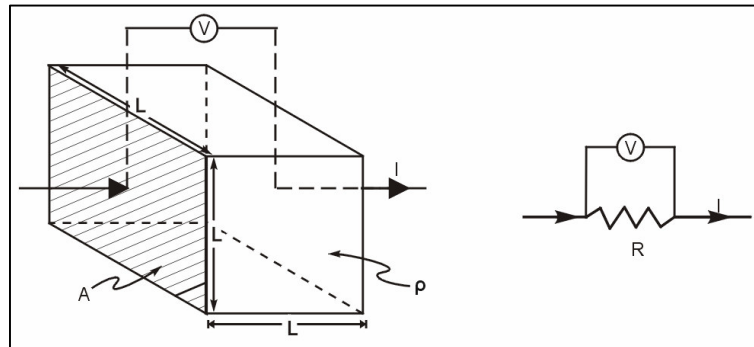
## **2.4 Exploración Hidrogeológica**

### **2.4.1 Métodos de Prospección Geoeléctrica**

La geoeléctrica es considerada una rama de la geofísica que estudia el comportamiento tanto de rocas como de sedimentos respecto a la corriente eléctrica. Además, es uno de los métodos geofísicos más usados dentro de la exploración de aguas subterráneas. Se utiliza como método indirecto para conocer la litología del subsuelo, diferenciando entre las capas permeables e impermeables, el espesor de cada una y proporcionando además información sobre la salinidad del agua de saturación y como consecuencia su carácter acuífero (Argumedo, 2017).

Dentro de los métodos geoeléctricos más usados en Hidrogeología están los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y Calicatas Eclécticas (CE) que se basan en la inyección artificial de una corriente eléctrica; de menor aplicación son la Polarización Inducida (PI) y el Potencial Espontáneo (PE), este último se basa en la medición de campos eléctricos naturales. Cabe mencionar que el flujo de una corriente eléctrica a través de las rocas o los sedimentos se explica bajo el concepto de la Ley de Ohm (ver Figura 2.6 y ecuación 2.2 que afirma que la caída de potencial ( $\Delta V$ ) entre 2 puntos por los que circula una corriente eléctrica de Intensidad ( $I$ ), es proporcional a ésta y a la Resistencia ( $R$ ) que tiene el medio al paso de la corriente (Auge, 2008).

$$\Delta V = (I * R) \quad 2.2$$



**Figura 2.6 Ley de Ohm.**

**Fuente: (Auge, 2008)**

La resistencia depende de la naturaleza y geometría del conductor puede aproximarse a un cilindro de longitud (L) y área (A) como se observa en ecuación 2.3:

$$R = \frac{\rho * L}{A} \quad 2.3$$

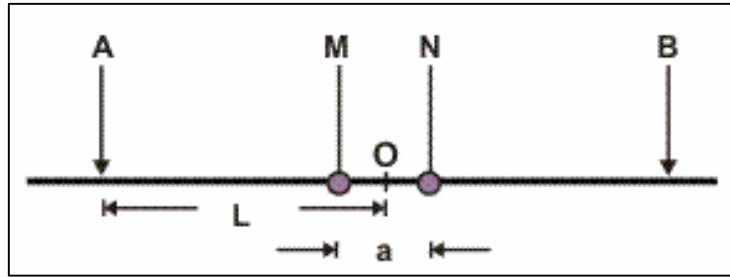
$\rho$  : representa la resistividad y muestra la naturaleza del conductor. En prospección geoelectrica, se trata de la resistividad de las rocas o sedimentos.

Al sustituir **R** de la ecuación 2.2 en la ecuación 2.3 se tiene que:

$$\Delta V = \frac{I * \rho * L}{A} \quad 2.4$$

La resistividad de una gran cantidad de rocas y sedimentos secos es elevada, por tal razón funcionan como semiconductores, o conductores de baja capacidad, pero este comportamiento se modifica en presencia de fisuras o poros rellenos de agua, provocando una reducción de la resistividad. Otros factores como el grado de saturación y el contenido salino del agua; donde, a mayor salinidad, menor resistividad y viceversa inciden en la resistividad del medio. Los equipos de prospección geoelectrica que se encargan de medir la resistividad en el subsuelo constan de un par electrodos de inyección de corriente (A y B) y los de medición del potencial (M y N) dispuestos de forma alineada, según las configuraciones propuestas por Schlumberger y Wenner. (Auge, 2008)

En el presente estudio se utilizará la configuración Schlumberger que es un dispositivo simétrico que debe cumplir con la condición de que la distancia que separa a AB debe ser mayor o igual que 5MN (Figura 2.7).



**Figura 2.7. Configuración Schlumberger.**

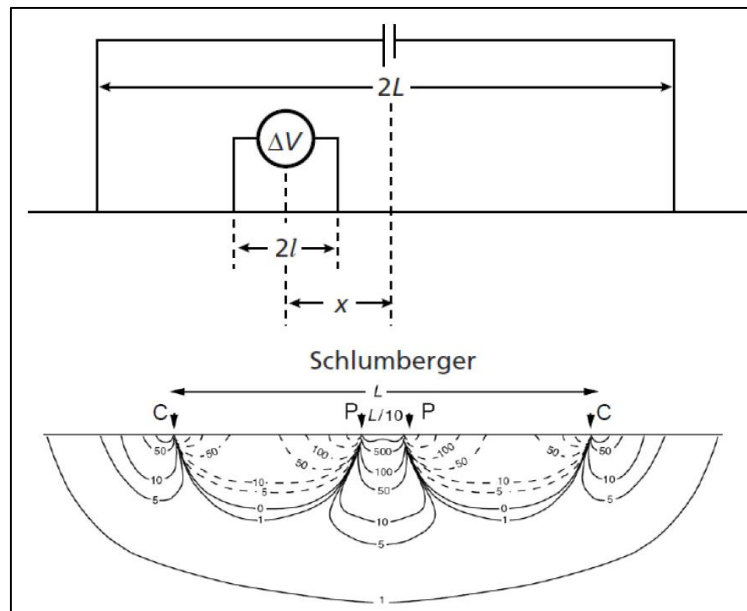
**Fuente: (Auge, 2008)**

Los valores de resistividad aparente se representan en función de  $AB/2$  y la constante geométrica (K) a través de ecuación 2.5:

$$K = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2) \approx \frac{\pi * L^2}{a} \quad 2.5$$

### 2.4.2 Sondeo Eléctrico Vertical

Consiste en un conjunto de determinaciones de la resistividad aparente, realizadas con un dispositivo lineal y una separación progresiva entre los electrodos de emisión y recepción (Auge, 2008), como se observa en la Figura 2.8.



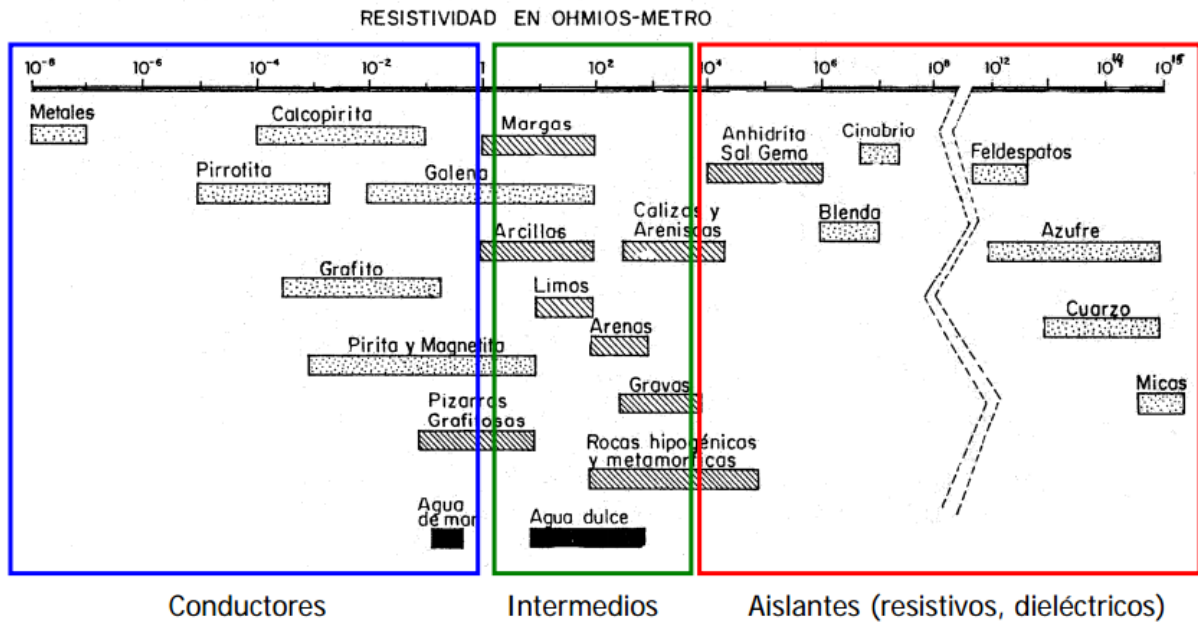
**Figura 2.8 Arreglo tipo Schlumberger para sondeos eléctricos.**

**Fuente: (Kearey et al., 2002)**

La finalidad de un SEV es la generación de un modelo de variación de la resistividad aparente respecto a la profundidad, a partir de mediciones realizadas en superficie. La profundidad que alcanza la corriente se incrementa conforme aumenta la distancia AB,



aunque por lo general no hay una relación proporcional entre ambas (Auge, 2008). A continuación, se muestra el rango de los valores de resistividad para algunas rocas (ver Figura 2.9)



**Figura 2.9. Resistividades eléctricas de algunas rocas.**

**Fuente: (Instituto Andaluz de Geofísica – Universidad de Granada, 2013).**

La exploración eléctrica mediante SEV, consiste en analizar el cambio de la resistividad aparente ( $\rho$ ) respecto a la gradual separación de los electrodos de corriente A y B, dicho cambio de  $\rho$  depende también de las variaciones de la resistividad real del terreno y del espesor de las capas estudiadas en el corte geoelectrico. Si se conoce el tipo del cambio de  $\rho$  con el aumento de distancia entre los electrodos A y B en el lugar de interés y la resistividad verdadera de las capas del corte, es posible establecer la profundidad de la estratificación sobre el horizonte de apoyo. La curva resultante del SEV correspondiente a un corte de cualquier número de capas conforme aumentar AB se aproxima a una recta paralela al eje de abscisas, es decir,  $\rho = \rho_n$ , donde  $\rho$  es la resistividad verdadera de la capa n (el horizonte eléctrico de apoyo). Lo cual tiene validez para todos los valores a excepción de  $\rho_n = \infty$  y  $\rho_n = 0$ . (Kalenov, 1987)

## 2.5 Siembra y Cosecha de agua

La siembra y cosecha de agua es definida como un proceso que utiliza los saberes de origen ancestral mediante la construcción de estructuras en los terrenos (tapes/diques), que propician condiciones de recarga artificial de agua en tiempo de lluvias, para

aprovecharlos en los tiempos de estiajes/secos mediante la explotación sostenible de las aguas subterráneas ya sea por extracción de pozos de agua, o también por medio de estructuras adicionales en el terreno que recogen, transportan y acumulan agua para utilizarlo para su explotación.

En Ecuador, uno de los sistemas de SyCA más utilizado es el de las qochas o también denominado albarradas, atajados, jagüeyes y pataquis. Este sistema consiste en depresiones naturales del terreno que permiten la retención temporal o permanente del agua de lluvia y/o de escorrentía, se puede incrementar su capacidad de almacenamiento recreciendo su cierre a través de un dique de tierra. Las albarradas de infiltración no están impermeabilizadas, por tal razón, además de servir como reservorios temporales de agua superficial, recargan los acuíferos y aumentan el caudal y el periodo de agotamiento de los manantiales, arroyos y ríos (Castro et al., 2020). En la Tabla 2.6 se indican los principales sistemas de SyCA reconocidos actualmente.

**Tabla 2.6 Sitios conocidos de SyCA en Iberoamérica.**

**Fuente: (Castro et al., 2020)**

<b>Lugar</b>	<b>País</b>	<b>Técnicas de SyCA</b>	<b>Ancestral/Réplica</b>
Bofedales de Parinacota	Chile	Bofedal	A
Bofedal de Caquena	Chile	Bofedal	A
Bofedal de Guallatire	Chile	Bofedal	A
Bofedal de Sorasorani	Chile	Bofedal	A
Chiapa, Tarapacá	Chile	Acequias	A
Poroma-Coscaya-Tarapacá	Chile	Acequias	A
Macaya, Tarapacá	Chile	Acequias	A
<b>Manglaralto</b>	<b>Ecuador</b>	<b>Albarradas, Tapes</b>	<b>A/R</b>
Santa Elena	Ecuador	Albarradas, Tapes	A/R
Catacocha, Palta, Loja	Ecuador	Qochas	A
Granada y Almería. S. Nevada.	España	Acequias de careo	A
La Valduerna (León)	España	Zayas	A
Quispillacta (Ayacucho)	Perú	Qochas	R
Santo Domingo de Capillas, (Huaytara, Huancavelica)	Perú	Zanjas, qochas	R
Chacla (Huarochiri, Lima)	Perú	Zanjas, amunas	R
Huacrahuacho (Cusco)	Perú	Zanjas, qochas	R
Ayacucho	Perú	Cuchacuhas	A

Lugar	País	Técnicas de SyCA	Ancestral/Réplica
Pillao y Matao, en San Jerónimo (Cusco)	Perú	Zanjas, amunas	R
Salkantay (Cusco)	Perú	Zanjas	R
Chichilla (Arequipa)	Perú	Qochas	R
Antacollana (Cusco)	Perú	Qochas	R
Tupicocha	Perú	Amunas	A
Santiago de Tuna	Perú	Amunas	A
Chaute	Perú	Amunas	A
Huamanatanga	Perú	Amunas	A

En el caso particular de la costa ecuatoriana, la cordillera Chongón-Colonche está constituida por los cerros que se extienden desde Puerto López (Manabí) hasta Durán (Guayas) delimitando el espacio donde se localizan la mayoría de los Sistemas de Albarradas que abastecen de agua a sus habitantes y sostienen la desgastada presencia del bosque seco tropical característico del sector. La altura de esta cordillera condiciona la captación de garúas y ofrece mayor humedad a las tierras bajo su influencia, en especial en la zona norte, permitiendo así el desarrollo en el ámbito de la agricultura. Conforme se avanza al sur la distancia de la cordillera al mar se dilata y se abren espacios de sábanas que necesitaron el apoyo de sistemas de siembra y cosecha de agua como lo son las albarradas para aprovechar el recurso agua de manera eficiente y a su vez pueda ser utilizado por la población permanentemente. En la provincia del Guayas el inventario por parroquias de las albarradas se revela a partir de la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Número de Albarradas inventariadas y su estado de mantenimiento.**

**Fuente: (Álvarez et al., 2004)**

#	Parroquia	# de Albarradas	Estado de Albarradas
1	Anconcito	-	-
2	Atahualpa	2	2 mantenidas
3	Chanduy	65	49 mantenidas y 16 destruidas
4	Chongón	4	3 mantenidas y 1 destruida
5	Colonche	25	17 mantenidas y 8 destruidas
6	Data de Villamil	7	5 mantenidas y 2 destruidas
7	El Morro	23	21 mantenidas y 2 destruidas
8	Julio Moreno	20	17 mantenidas y 3 destruidas
<b>9</b>	<b>Manglaralto</b>	<b>5</b>	<b>3 mantenidas y 2 destruidas</b>

#	Parroquia	# de Albarradas	Estado de Albarradas
10	Muey	6	4 mantenidas y 2 destruidas
11	Playas	4	4 mantenidas
12	Posorja	11	9 mantenidas y 2 destruidas
13	Progreso	6	6 mantenidas
14	Santa Elena	27	17 mantenidas y 10 destruidas

Por otro lado, de las albarradas que se han reportado en la provincia del Guayas una gran cantidad han aplicado estructuras hidráulicas modernas, conocidas como tapes o diques, que son pequeños embalses que detienen la corriente de algún nivel de los ríos con la finalidad de aprovechar el agua del invierno. No obstante, los tapes suelen estar destruidos a causa de las fuertes corrientes que ocasionan intensos inviernos o el fenómeno del Niño que ocurre con intervalos previstos de unos siete años (Álvarez et al., 2004).

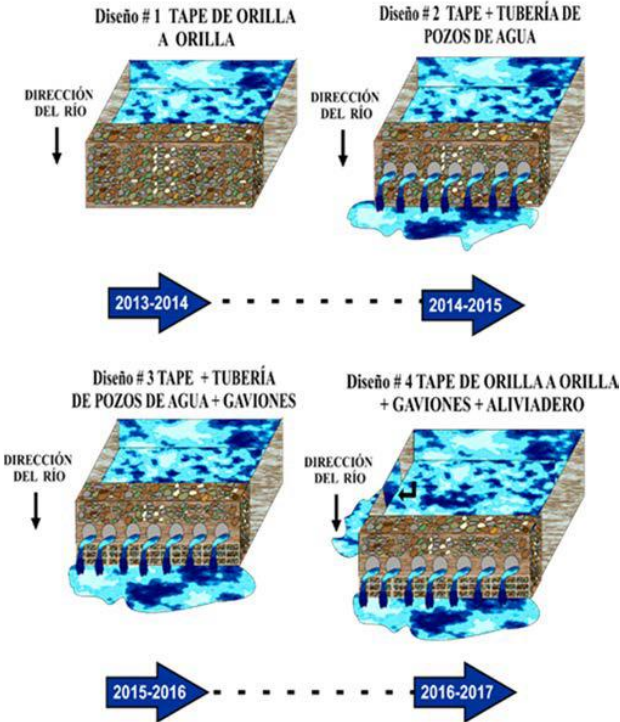
Con la finalidad de controlar el estado de los tapes artesanales de la parroquia Manglaralto, se ha llevado a cabo la construcción del primer tape/dique técnico-artesanal. Este proceso se llevó a cabo con la participación de los comuneros del sector, con algunas modificaciones y adaptaciones prácticas (Carrión et al., 2018). En la fase 1 se recogió y apiló rocas y sedimentos para evitar el paso del agua (2013-2014). En la fase 2 se colocó 10 tuberías a lo largo del dique (tape), permitiendo así el paso del agua. 2014-2015. Finalmente, en la fase 3 se implementaron gaviones (malla metálica con piedras), distribuidos a lo largo del eje del tape/dique (2015-2016), ver Figura 2.10.

Durante el periodo (2016-2018) el diseño del tape tenía las características de los otros diseños, con la implementación de aliviaderos y en la actualidad consiste en un diseño

de hormigón con aliviaderos y tuberías a lo largo del eje del dique. Este proceso evolutivo de los diseños del tape/dique realizados por la JAAPMAN se visualizan en la Figura 2.11.



**Figura 2.10. Fases de construcción del tapes/dique técnico artesanal.**  
**Fuente: (Carrión et al., 2018)**



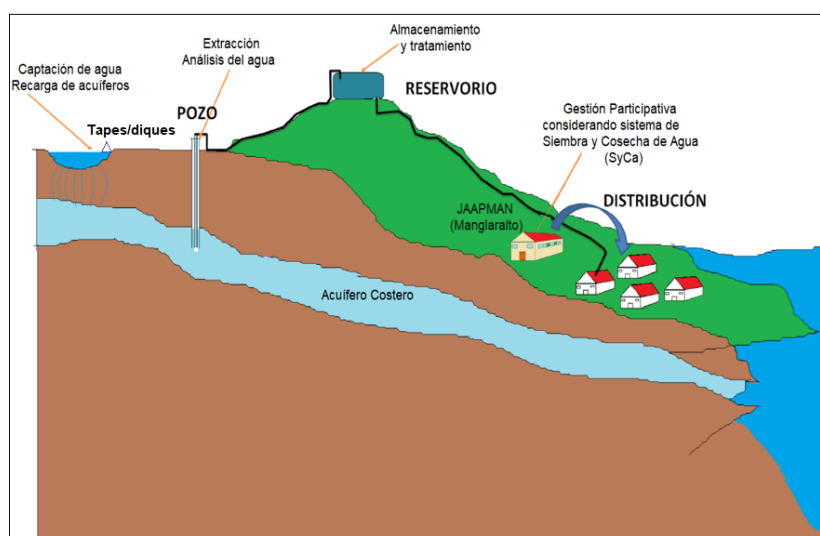
**Figura 2.11. Diagramas de bloques de los diversos diseños de tapes/diques realizados por la JAAPMAN en Manglaralto.**  
**Fuente: (Carrión et al., 2017).**

## 2.6 Gestión de Acuíferos Costeros

Es un conjunto de actividades que tienen como propósito promover el desarrollo y la gestión coordinada del agua y suelos para conseguir un elevado bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de estos. Para lograr la sostenibilidad, se emplea la recarga artificial, que es, por lo general, la manera más económica de abastecimiento seguro de agua para pueblos y comunidades rurales.

Las áreas colindantes con el mar son reconocidas como sitios donde se generan polos importantes de desarrollo, en el caso de Ecuador, las costas se han convertido en atractivos destinos turísticos, lo cual produce un incremento en la demanda del agua como es el caso de los balnearios de Montañita en la parroquia Manglaralto que obtienen agua de los acuíferos presentes en la zona. No obstante, dichos acuíferos presentan problemas a causa de la explotación, contaminación y proximidad al mar.

En conclusión, la gestión de acuíferos busca mantener el equilibrio de recarga, dada por las infiltraciones naturales del agua de escorrentía o de precipitación, y las extracciones, si se presenta una mayor extracción a la infiltración se producirá un desequilibrio, que se puede contrarrestar empleando otras alternativas como lo es la recarga artificial, pero si el desequilibrio es constante, la recarga artificial toma mayor relevancia en la gestión (Quinteros, 2013). Para la mejor comprensión de la gestión del agua en la parroquia Manglaralto se lo resume en la Figura 2.12.



**Figura 2.12. Modelo de Gestión del agua en Manglaralto.**

**Fuente: Adaptado de (Quinteros, 2013)**

# CAPÍTULO 3

## 3. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 3.1 Geología

#### 3.1.1 Geología Regional

La geología del suroeste de Ecuador, donde se encuentra la provincia de Santa Elena ésta limitada por la interacción de las Placas Nazca y Sudamericana (Jaillard et al., 2009). Varios autores (Benítez, 1995; Deniaud et al., 1999; Cobos, 2010), han registrado la columna sedimentaria de la Península de Santa Elena como unidades tectonoestratigráficas sobre la formación Piñón, un basamento oceánico de edad cretácica, ver Figura 3.1.

En el cantón Santa Elena se encuentran diferentes tipos de rocas de edad del paleógeno y neógeno, dispuestos sobre basamento de rocas volcánicas y rocas volcano-sedimentarias de edad cretácica, que afloran en diferentes lugares de la Cordillera Chongón-Colonche. Además, se pueden hallar rocas sedimentarias cuyo origen es marino-continental, de edad Terciaria y cubiertas localmente por sedimentos cuaternarios de origen marino. También se observan depósitos sedimentarios cuaternarios distribuidos en las partes bajas del sector que conforman el medio aluvial (IEE & MAGAP, 2012). La evolución geológica del cantón se resume a continuación.

**Formación Piñón:** Data del Jurásico con la emisión de grandes flujos volcánicos que se extienden hasta el Cretácico, consiste en corteza oceánica acrecionada al continente y conformada por lavas basálticas que presentan pillow lavas e intercalaciones volcano-clásticas. En el cantón Santa Elena se presentan lavas recristalizadas color verde, con geoformas de relieves colinados medios y altos. (IEE & MAGAP, 2012)

**Formación Cayo:** Data en el Cretácico superior, consiste en limolitas de color verde, arenisca color amarillento, grauvacas cloritizadas, tobas y aglomerados. Se evidencia como una secuencia sedimentaria de origen volcánico. En la PSE se evidencia con afloramientos puntuales a través de fallas. (IEE & MAGAP, 2012)

**Formación Guayaquil:** Edad de Cretácico superior, su litología incluye arcillas silicificadas tipo chert, color café grisáceo. También está conformada por lutitas síliceas de color amarillento cuando no están alteradas y de color anaranjado a rojizo cuando se

encuentran meteorizadas, contienen nódulos de pedernal color gris oscuro o también llamados chert y se caracteriza por relieves colinados medios y bajos. (IEE & MAGAP, 2012)

**Grupo Azúcar:** Edad Eoceno medio a superior, es bastante potente y consta de tres unidades: la inferior Estancia, la serie conglomerática del medio Chanduy y la superior Engabao. Constituida por areniscas con arcilla guijarrosa de color café claro. Afloran en el Este de la PSE, en los cerros Panamá, Cerro Saya, Cerro de los Judas, Cerro Palo Largo y Chanduy, formando relieves ondulados, colinados muy bajos, bajos, medios y altos, hasta las partes planares, donde se fusionan. (IEE & MAGAP, 2012)

**Grupo Ancón:** Edad Eoceno superior, es un conjunto que agrupa tres formaciones: Clay Pebble Bed, Socorro y Seca. En la parte inferior data Eoceno Medio y en la parte alta Eoceno Superior. Está compuesto por areniscas de grano medio poco compactada de color café amarillenta, con intercalaciones de arcillas y lutitas gris verdosas. (IEE & MAGAP, 2012)

**Formación Tosagua – Miembro Zapotal:** con edad del Oligoceno superior, reposa discordantemente sobre el Grupo Ancón. Se compone de areniscas de grano medio de color café amarillento y aflora como bancos de conglomerados y estratos de decimétricos a métricos de areniscas endurecidas. (IEE & MAGAP, 2012)

**Formación Tosagua – Miembro Dos Bocas:** Edad de Mioceno inferior, consiste en intercalaciones de lutitas laminadas color chocolate, con acumulaciones calcáreas y en la base limolitas que contienen yeso. Los relieves de esta formación se observan en el sector de Pueblo Nuevo, El Rosal y en Dos Bocas. (IEE & MAGAP, 2012)

**Formación Tosagua – Miembro Villingota:** de edad del Neógeno, constituida por lutitas diatomáceas blancas algo calcáreas. Situada al Este del cantón, en los sectores La Matanza y Sube y Baja que se componen de relieves colinados medios. (IEE & MAGAP, 2012)

**Formación Progreso:** Edad Mioceno Superior, yace en discordancia sobre la Fm. Tosagua. Constituida por areniscas blandas de color amarillento, arcillas grises y lutitas. Los relieves de esta formación se hallan en la parte centro y Noroeste de la parroquia Gómez Rendón hasta el recinto Sucre, formando relieves ondulados, colinados muy bajos, bajos y medios. (IEE & MAGAP, 2012)



**Formación Tablazo:** Edad Pleistoceno, yace en discordancia sobre las Formaciones Paleógenas aflorantes mediante fallas verticales. Constituida por areniscas calcáreas de grano fino a medio de color blanco y con presencia de gravas centimétricas, se presenta en estratos tabulares casi horizontales. Esta formación se encuentra desde los acantilados de Ballenita hasta el cerro El Capay, los 3 niveles terrazados marinos, formado por rocas bioclásticas muy evidenciables. (IEE & MAGAP, 2012)

**Depósitos Aluviales de Río:** de edad Holoceno y están compuestos por arcillas, areniscas, gravas y conglomerados polimícticos; con gran cantidad de materiales erosionados y arrastrados desde los relieves montañosos contiguos. Se encuentran geoformas como: valle fluvial, terraza alta, media, baja e indiferenciada que se sitúan en todo el cantón Santa Elena. (IEE & MAGAP, 2012)

**Depósitos Aluviales de Estero:** corresponden a los depósitos compuestos predominantemente de lodo (fango) y trechos de arena fina y limos que forman terrazas ligeramente más empinadas y secas, además gran parte de estos depósitos comprenden lodos consolidados por manglares y pocos aportes temporarios. (IEE & MAGAP, 2012)

**Depósitos Coluviales:** de edad Cuaternaria, formados al pie de una ladera por transporte gravitacional de materiales meteorizados como producto de la desintegración de relieves primarios. Compuestos por bloques y gravas de arenisca en matriz limo arenosa, formando coluviones antiguos y recientes. (IEE & MAGAP, 2012)

**Depósitos Coluvio Aluviales:** data en el Cuaternario, originados por la sedimentación de material clástico, a causa de la erosión de las partes altas de las formaciones existentes. Constituidos por gravas, arenas y limos, que rellenan los valles formados por los ríos y parte de las cuencas hidrográficas. (IEE & MAGAP, 2012)

**Depósitos Fluvio-Marinos:** de edad Cuaternaria, formados directamente en la línea de costa e influenciados por la acción de corrientes fluviales del oleaje y las mareas. Se componen de arcillas, limos y arenas de grano fino. (IEE & MAGAP, 2012)

**Depósitos Marinos:** de edad Cuaternaria, originados por aportes sedimentarios marinos y eólicos. Se localizan paralelos a la línea de costa y se constituyen de materiales arenosos y limo arcillosos. (IEE & MAGAP, 2012)

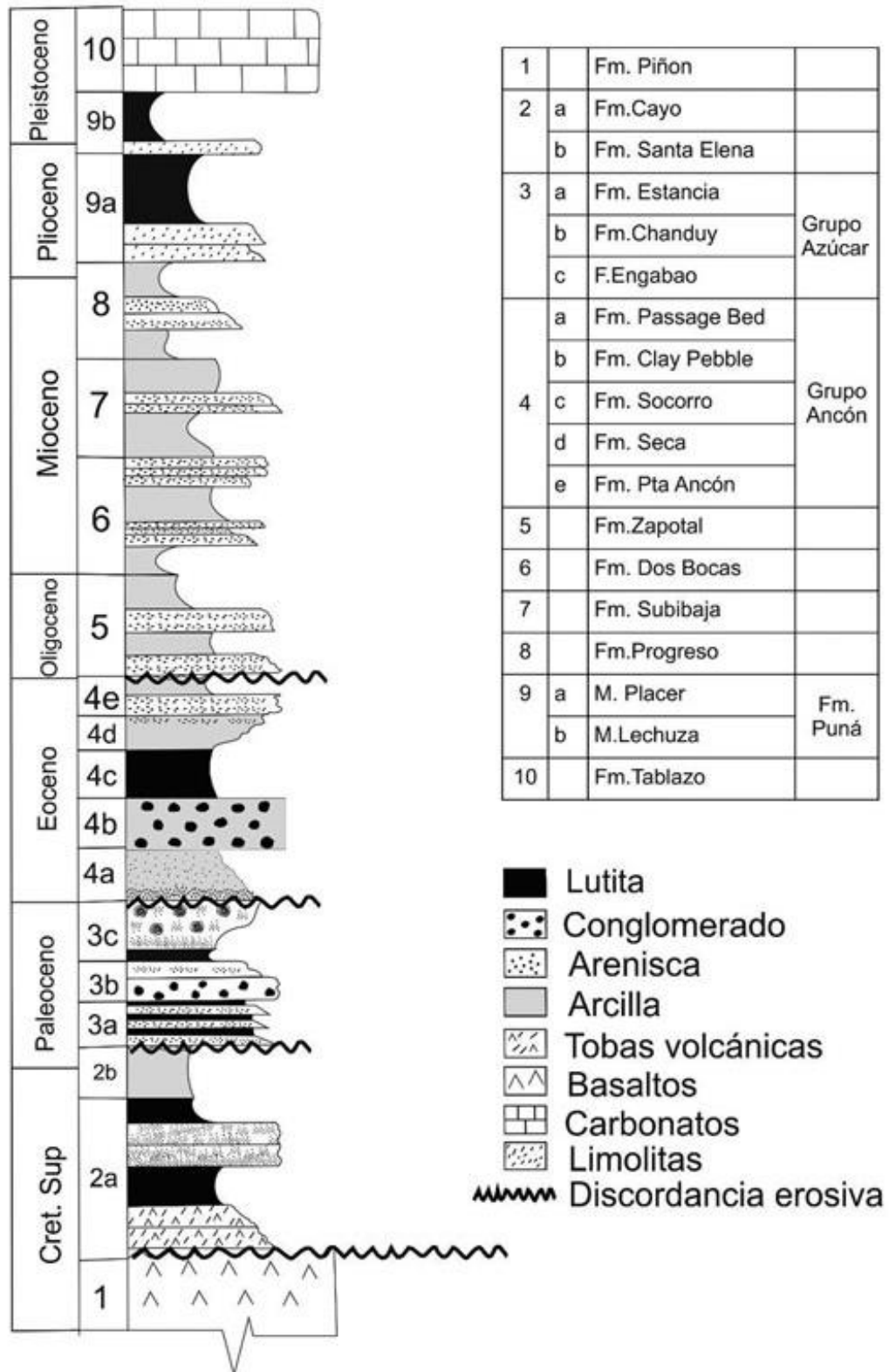


Figura 3.1. Columna Estratigráfica Progreso/Santa Elena.

Fuente: (Lorenzo et al., 2017)

### **3.1.1 Geología Local**

#### **Formación Cayo [Cretácico Superior]**

Sobreyace a la Fm. Piñón en contacto comúnmente fallado. Es una formación de carácter volcano-sedimentaria que está constituida por estratos delgados, gruesos y masivos de areniscas, conglomerados, cherts, tobas y aglomerados volcánicos. Estos aglomerados establecen la base de la Fm. Cayo, se componen de clastos fragmentados de basaltos y otros ígneos, con de textura cristalina a vidriosa y de color verdoso gris a negro.

La serie de conglomerados y areniscas de la Fm. Cayo son de granulometría muy variable, que va desde clastos grandes inclusive métricos compuestos mayormente por material básico ígneo, hasta granos muy finos de areniscas. Las areniscas son en su mayoría cuarzosas, pero contienen significativas cantidades de glauconita, calcita, feldespato, magnetita y anfíbol. Las areniscas feldespáticas se conocen como graywackas y subgrauvacas. Las tobas afloran en toda la Fm. Cayo, hacia la base suelen ser más compactas y su composición varía de silicosa a calcárea y por lo general son de color blanco (Valencia, 2017).

Las arcillas de la Fm. Cayo son de color habano, oliva negro y con tintes verdosos, muchas veces se intercalan con estratos delgados de tobas. Son silíceas o chertosas y se encuentran en la mitad de la parte alta de la formación, hasta que hacía techo dominan las lutitas tipo chert tomando el nombre de Fm. Guayaquil (Nuñez, 2003). La Fm. Cayo aflora en la región montañosa de la cuenca de Manglaralto donde se observan las lutitas arcillosas, tobáceas, silicificadas de color verde a gris, las areniscas conglomeráticas de color pardo a negro y en algunos lugares incluso se observan graywackas verdosas (Amado, 1990).

#### **Miembro Javita [Eoceno Medio]**

Pertenece al miembro superior de la Fm. San Eduardo y es caracterizado por presentar calcarenitas de grano grueso, de color crema a gris marrón, en alternancia con brechas y conglomerados. En la base se halla lutitas calcáreas y algunos nódulos de chert. Aflora al norte de la cuenca de Manglaralto, en la zona montañosa, al sur de la cordillera Chongón-Colonche, descansando sobre la Fm. Cayo, en el cerro de Los Llovedores (Nuñez, 2003).

### **Grupo Ancón [Eoceno Medio y Superior]**

Se representa en cuatro unidades estratigráficas que son de la más antigua a la más reciente: La Fm. Clay Pebble Beds, Socorro, Seca y Punta Ancón. En la cuenca de Manglaralto solo afloran líticos de la Fm. Socorro y Fm. Seca.

### **Formación Socorro [Eoceno Medio y Superior]**

Estratigráficamente definida como un flysch compuesto por secuencias turbidíticas alternadas con capas finas de areniscas y lutitas de color gris verdoso (Nuñez, 2003). Además, tiene numerosas deformaciones singenéticas, originadas a causa de deslizamientos y fallas activas durante su depositación. Aflora al SE de la cuenca en forma del conglomerado basal con intercalaciones de areniscas grises calcáreas, lutitas y limolitas. La parte basal de esta formación es definida como Miembro San Pablo, de la Fm. Socorro (Amado, 1990).

### **Miembro Dos Bocas [Mioceno Inferior]**

Formado por lutitas limosas grises y de color chocolate al meteorizarse. Se encuentran en alternancia con capas de limolitas y areniscas finas color amarillo rojizo. Se tiene estructuras de concreciones calcáreas, vetillas de yeso y horizontes de lignito interestratificadas con las lutitas que muestran un ambiente marino somero. (Nuñez del Arco, 2003). Esta litología se halla en la zona central de la cuenca de Manglaralto y en la parte NO de la cuenca afloran las lutitas y areniscas color ladrillo (Amado, 1990).

### **Miembro Zapotal [Mioceno Inferior]**

Suprayacente en discordancia al Grupo Ancón y está conformado por capas de areniscas medias, con alternancia de limolitas. Su base es conglomerática con clastos subangulares y líticos de cuarzo, areniscas, calizas y cherts. (Nuñez del Arco, 2003).

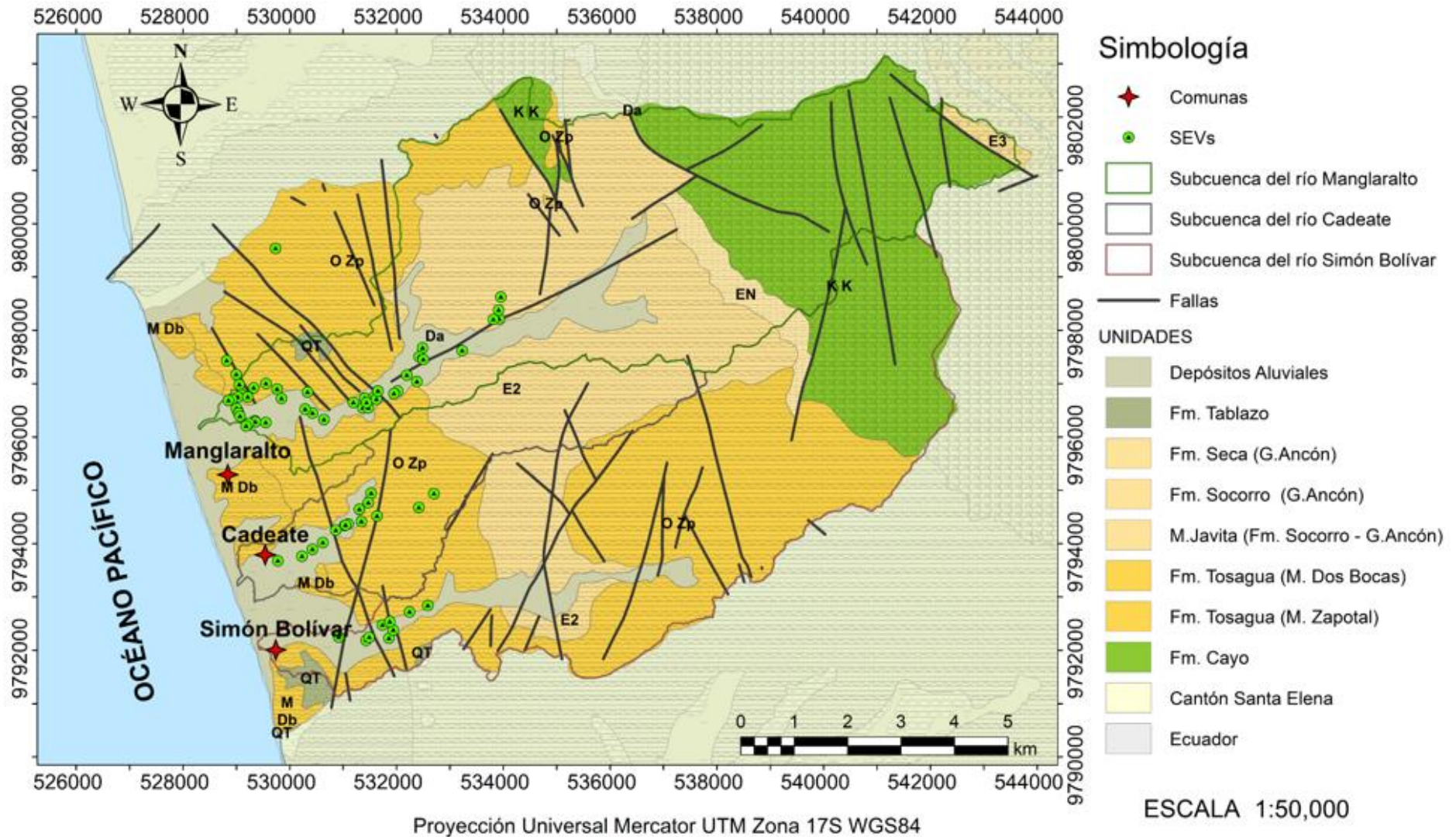
### **Formación Tablazo [Pleistoceno – Holoceno]**

Aflora en todo el perfil costero ecuatoriano abarcando la costa norte de Perú. Está cubierta por sedimentos cuaternarios y se constituye de areniscas conchíferas, coquinas, conglomerados y areniscas centimétricas a decimétricas en su parte basal. Los estratos de areniscas presentan estratificación cruzada y sobre estos se hallan finas capas de limolitas y arcillolitas grises y bandas de arenas grises oscuras interestratificadas (Ordoñez, M., Jiménez, N., Suárez, 2006).

Esta formación presenta cuatro niveles de facies: El nivel superior que se compone de lumaquelas y areniscas calcáreas, que revelan un ambiente marino profundo; la segunda facie contiene horizontes de arenas finas, arcillas y conglomerados, con conchas y nódulos calcáreos mostrando un ambiente marino somero; el tercer nivel constituido de arenas marrones con fragmentos de conchas, de un ambiente marino litoral y la última facie (la más joven), se ubica bajo el actual nivel del mar (Nuñez, 2003). Esta formación también aflora en la cuenca Progreso creando pequeñas mesetas surcadas por los ríos que se ven afectadas por fallas cuaternarias que evidencian la inestabilidad tectónica de la región. La formación presenta un alabeamiento general SE, debido a esto pierde altura de sur a norte consiguiendo el nivel del mar en Ayangue (DGGM, 1974).

### **Depósitos Aluviales [Holoceno]**

Constituidos por conglomerados, arenas, gravas, limos y arcillas no consolidadas, dispuestos en terrazas, que fueron depositados por ríos y quebradas y sobreyacen a la mayoría de las formaciones geológicas a excepción de los depósitos estuarinos que son los más jóvenes (Nuñez, 2003). Los depósitos aluviales de la cuenca de Manglaralto rellenan los valles creados por los ríos Manglaralto, Cadeate y Libertador Bolívar, con conglomerados algo brechosos de matriz limo arenosa y una potencia máxima de hasta 20 metros de profundidad según (DGGM, 1974). A continuación, se muestra un mapa geológico que abarca la zona de estudio (ver Figura 3.2).



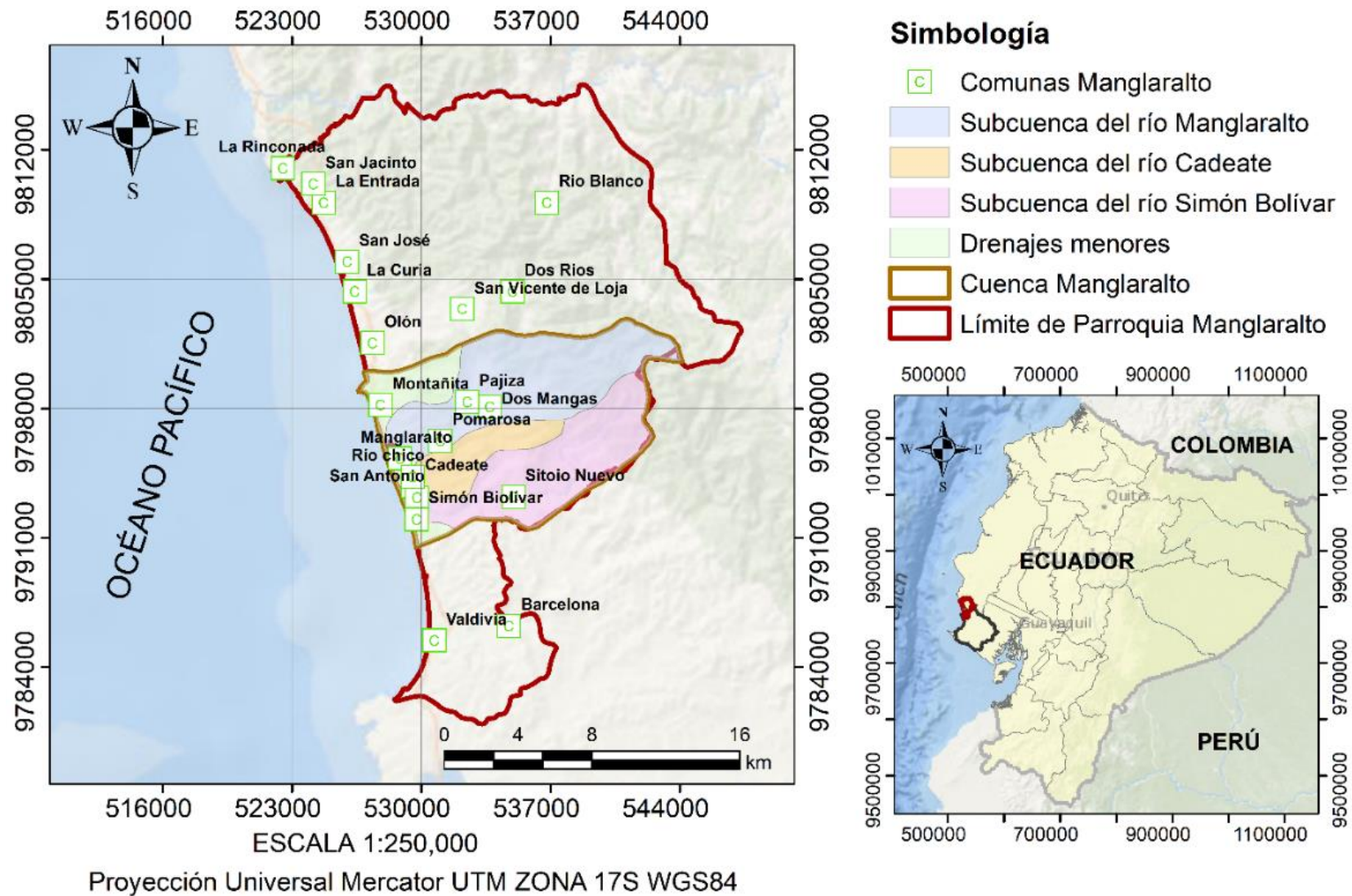
**Figura 3.2. Mapa Geológico de la zona de Estudio.**  
**Fuente: Modificado de (SNI, 2019) (CIPAT-ESPOL & SENAGUA, 2014)**

### **3.1.2 Ubicación**

La zona de estudio, de manera general abarca la parte norte de la parroquia rural Manglaralto, perteneciente a la provincia de Santa Elena, la cual se sitúa en la región litoral del Ecuador que comprende al cantón del mismo nombre y a la parroquia rural Manglaralto que se ubica en la zona norte. Según el INEC en el censo 2010, la parroquia Manglaralto presenta un área aproximada de 497.4 km<sup>2</sup> que representa el 13.21 % del territorio de la PSE, y una población de 29.512 habitantes.

Además, consta de 18 comunas: Atravezado, Las Núñez, Río Chico, Barcelona, Libertador Bolívar, San Antonio, Cadeate, Manglaralto, San José, Curía, Montañita, San Pedro, Dos Mangas, Olón, Sinchal, La Entrada, Pajiza y Valdivia, cuya administración y distribución del agua la realizan las respectivas juntas de agua del sector, es decir, la Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Olón (JRAPO) que distribuye el recurso a 5 comunidades de la zona norte de la parroquia Manglaralto (Herrera, Bravo, et al., 2020); la Junta Administradora de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN), y la Junta de Agua Regional de Valdivia (JARV), que adquieren agua de los acuíferos de los ríos: Olón (zona norte); Manglaralto (zona central); y Valdivia (zona sur) según (Quiñonez, 2019), como se observa en la Figura 3.3.







El presente estudio se concentra en el territorio que administra la JAAPMAN, la cual se encarga de la gestión del agua de 6 comunidades: Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar (Quiñonez, 2019), debido a que en la zona no se cuenta con una empresa de red pública que abastezca y distribuya del recurso las comunidades rurales. Sin embargo, la presente investigación se enfocará en el análisis de 3 comunas: Manglaralto, Cadeate y Libertador Bolívar, donde se ubican las subcuencas hidrográficas de los ríos: Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar respectivamente, como se muestra en la Figura 3.4. Estas subcuencas se ubican en la parte centro-norte de la provincia Santa Elena. Además, cabe mencionar que a lo largo del río principal de la subcuenca Manglaralto se ubican los 12 pozos de agua que se encuentran en funcionamiento y los 5 tapes/diques que se han construido para ayudar con la recarga artificial de agua en las épocas lluviosas del sector.

El número de usuarios de las 3 comunas mencionadas anteriormente se resume en la Tabla 3.1, los usuarios incluyen los residentes locales y la población flotante; debido a que es una zona que acoge un significativo flujo migratorio de turistas (Herrera, 2015).

**Tabla 3.1 Población aproximada de las comunas en estudio.**

**Fuente: Adaptado de (Herrera, 2015)**

Comunas	Año		
	2005	2010	2015
Manglaralto	556	4.887	6.554
Cadeate	201	1.765	2.367
Libertador Bolívar	327	2.872	3.852
<b>Total</b>	1.084	9.524	12.773

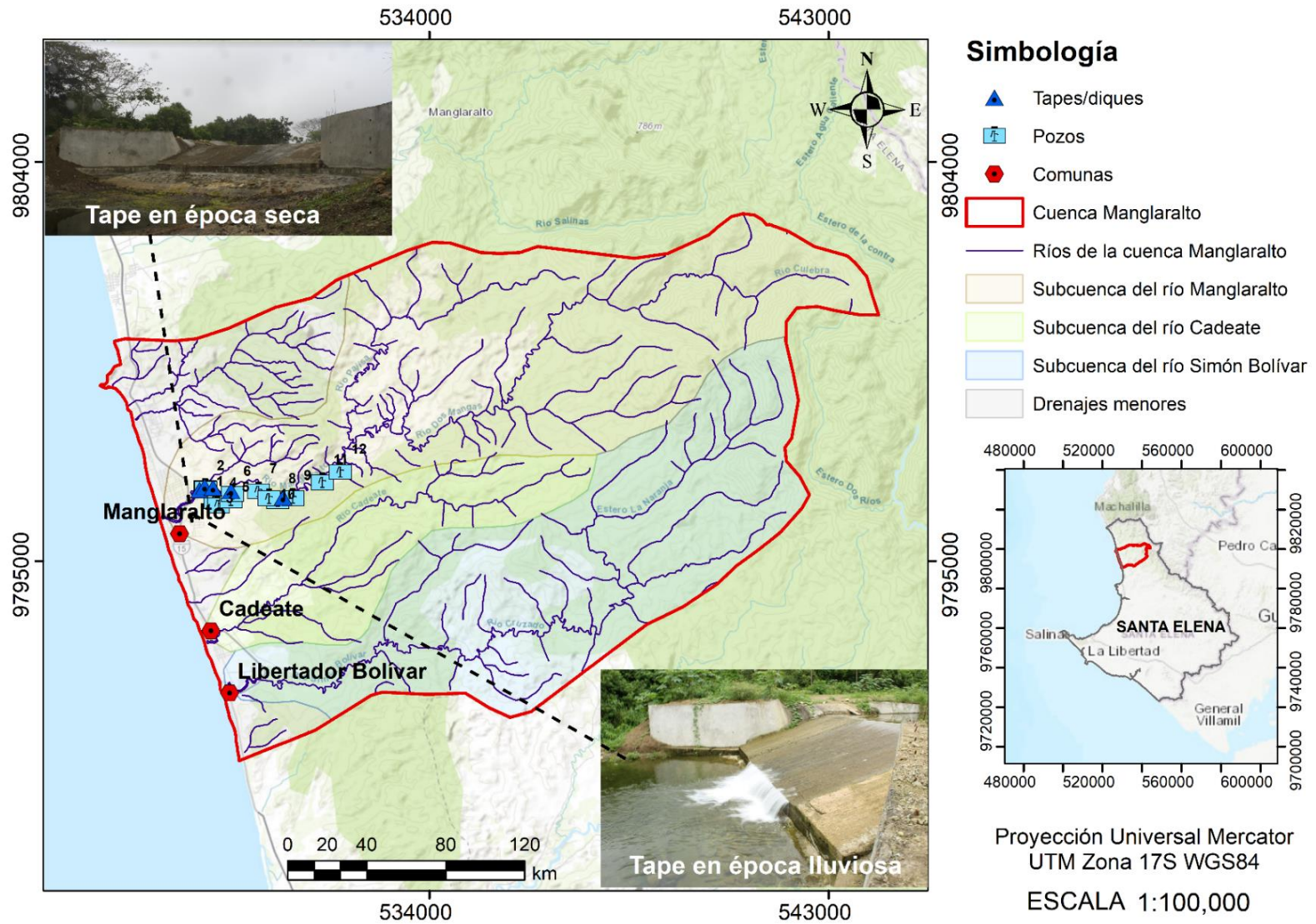


Figura 3.4. Mapa de Zona de Estudio.

Fuente: Adaptado de (SNI, 2019)

### **3.2 Clima y Vegetación**

La Península de Santa Elena se caracteriza por presentar un clima tropical mega-térmico de árido a semiárido, que a su vez se divide en tres zonas climáticas distintas: Clima tropical húmedo, propio de la cordillera Chongón Colonche desde donde surgen gran parte de los sistemas hidrográficos de la parte nor-oriental de la provincia, incluidos los de la cuenca del río Manglaralto; clima tropical seco, que se ubica en la franja costera, y clima tropical de sabana que cubre la mayor parte de la provincia incluyendo las partes bajas y los valles y donde prevalecen los ciclos secos y las precipitaciones se dan en los meses de febrero y marzo (Fajardo I & Campoverde J, 2018).

Acorde a la estación meteorológica, de código M0619 del INAMHI ubicada en la cuenca hidrográfica de Manglaralto se registran los siguientes rangos de temperatura para el periodo 2013-2014: temperatura media anual: 24.3°C; temperatura máxima absoluta es de 26.6°C [julio] y la temperatura mínima absoluta es de 21.4°C [enero] (Valencia, 2017). Asimismo, presenta una vegetación distintiva de plantas que sobreviven a periodos de sequía (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Manglaralto (GADM), 2014).

### **3.3 Precipitación**

El sistema hidrográfico del norte de Península de Santa Elena (PSE) está conformado por los ríos que nacen en la cordillera Chongón-Colonche y fluyen en dirección O-SO de la provincia de Santa Elena. En la cuenca de Manglaralto existen 3 subcuencas hidrográficas de los ríos principales: los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar. Además, existen algunos drenajes de manglares más pequeños, como el río Chico y el río Montañita o Chicharrón.

Según los datos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAHMI), en la cuenca del río Manglaralto la precipitación anual varía en el rango de 300 a 700 mm/año durante la época de lluvias (enero a abril) mientras que, en la época de estiaje (mayo a diciembre), los valores promedio de precipitación mensual son próximos a cero (Carrión et al., 2018) , como se indica en la Tabla 3.2 que además detalla las precipitaciones mensuales en el periodo 1991-2013 obtenidos de la estación meteorológica de Manglaralto, de código M0619, situada a 6 msnm en las coordenadas: 1° 50' 16" S de latitud y 80° 44' 16" O de longitud (Fajardo I & Campoverde J, 2018).

**Tabla 3.2. Precipitaciones mensuales de la estación Meteorológica de Manglaralto.**

**Fuente: (INAMHI, 2014) (INAHMI, 2015) (INAMHI, 2017)**

Precipitaciones Mensuales M0619 (mm)										
Meses	1991	1992	1995	1999	2000	2007	2008	2011	2012	2013
Enero	23.1	55.4	17.2	8.0	2.0	22.7	133.1	55.3	144.6	107.2
Febrero	141.3	64.3	126.6	215.3	6.0	7.3	151.9	58.0	189.1	39.2
Marzo	0.0	350.6	13.4	15.9	20.2	262.9	105.8	0.0	201.5	102.0
Abril	2.0	270.1	27.0	3.5	8.0	0.0	0.0	115.3	0.0	2.2
Mayo	3.0	17.0	6.5	9.0	0.0	13.7	9.5	0.0	10.0	11.0
Junio	3.0	85.0	2.8	8.0	12.0	31.4	0.0	9.4	10.0	25.9
Julio	15.2	10.1	30.9	13.0	15.1	59.8	14.7	60.8	0.0	30.1
Agosto	30.7	25.9	29.2	0.0	0.0	14.3	19.4	26.6	3.5	8.2
Septiembre	19.4	15.7	18.6	26.0	9.0	5.0	-	0.0	8.5	12.4
Octubre	15.4	12.0	48.2	11.0	13.0	55.2	-	20.7	20.8	29.6
Noviembre	10.0	0.0	-	6.0	4.1	10.0	-	0.0	1.6	13.6
Diciembre	11.6	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-	0.0	2.0	3.8
Total	274.7	906.1	320.4	315.7	89.4	482.5	434.4	346.1	591.6	385.2

### 3.4 Hidrogeología

En la zona de estudio, el agua es acumulada en los sistemas de drenaje dado por las subcuencas de los ríos principales, en este caso, los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar que pertenecen a la cuenca hidrográfica de Manglaralto donde afloran depósitos aluviales recientes constituidos principalmente por gravas y arenas, que poseen idóneas condiciones de porosidad y permeabilidad para la acumulación de aguas subterráneas. Además, se evidencian estratos arcillosos, arcillas limosas de la Fm. Socorro del Grupo Ancón subyacente y lutitas del Miembro Dos Bocas de la Fm. Tosagua, que servirían de capa impermeable favoreciendo de mejor manera entrapamiento del agua (Valencia, 2017).

En la Tabla 3.3 se muestra la proyección del crecimiento poblacional vinculado a la administración de la JAAPMAN (Borbor & Vera, 2014). Este incremento de la población demuestra un mayor requerimiento o consumo de agua, pero no se considera la población flotante. Según (Valencia, 2017), para el 2015 habría un consumo de 654.831 m<sup>3</sup> de agua. Este incremento entre el volumen requerido para el suministro a la población asignada y el volumen extraído en el 2015 es ocasionado por la población flotante y

representa una relación del 2.16% para el 2019, un 2.6% para el 2019 debido al crecimiento poblacional y se convertiría en un 3.08% para el 2025. A este volumen por población y turistas, se debe añadir el volumen extraído por otros pozos dentro del acuífero pero que no pertenecen a la JAAPMAN, que significaría un 15% (Quiñonez, 2019).

Acorde a estos datos, a una tasa anual promedio del 23.4%, se valora que el volumen extraído del acuífero sea de 7'526.318 m<sup>3</sup> en los próximos 5 años (2020-2025). En contraste, el volumen adquirido en temporada húmeda del modelo geométrico del acuífero es de 13'596.000 m<sup>3</sup>. Con lo cual se puede decir que, a causa de la implementación de un sistema artificial de recarga, el volumen de agua ha incrementado y el acuífero podría suministrar el agua requerida en Manglaralto. No obstante, hay que considerar que la cercanía entre los pozos de agua y la única distribución sobre la cuenca baja genera la sobreexplotación del recurso en algunos lugares propiciando la aparición de la intrusión salina. Este valor es un estimado y puede estar sujeto a modificaciones, por lo tanto, no se recomienda extraer toda la cantidad de agua señalada, debido a que no se tomó en cuenta el porcentaje que debe reducirse por el equilibrio ecológico (Quiñonez, 2019).

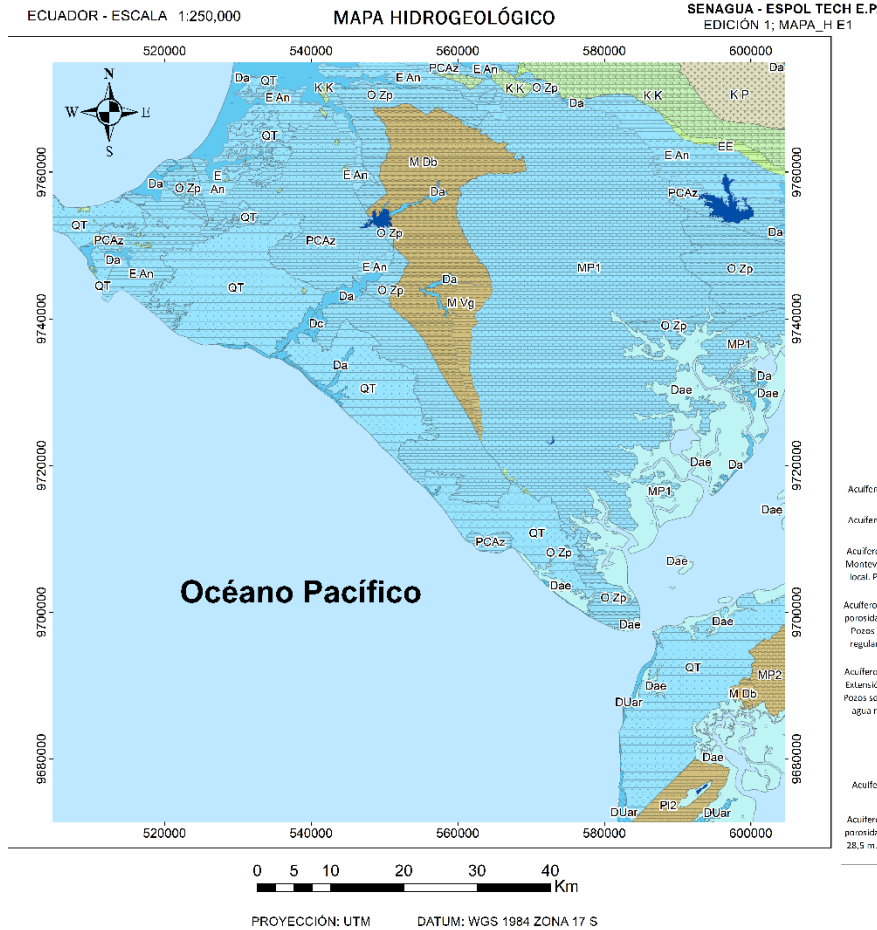
**Tabla 3.3. Proyección poblacional y volumen de agua requerido en territorio de la JAAPMAN.**

**Fuente: Adaptado de (Borbor & Vera, 2014)**

Año	Población Suministrada	Volumen requerido (m <sup>3</sup> /año)		
		Por la población	Por población y turistas	Por el acuífero
2015	22.147	640.998	654.831	753.056
2020	26.885	870.361	893.164	1'027.138
2025	31.623	1'132.887	1'167.780	1'342.947

A continuación, en la Figura 3.5 se adjunta el mapa hidrogeológico de Santa Elena donde se observan las unidades y características hidrogeológicas del sector.

# HOJA SANTA ELENA



Simbología	
	Poblados
	Rios
	Cuerpos de Agua
	Vias
	Fallas Geológicas
	Curvas Isopiezas
	Pozo
	Pozo Termal
	Manantial
	Manantial termal
	Sentido de Flujo

INDICE DE HOJAS ADYACENTES ESC. 1:250,000

FIN-INT:  
 - INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM), CARTOGRAFÍA BASE 1:250,000, 2013  
 - SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA), PUNTOS DE AGUA 2012  
 - INSTITUTO NACIONAL GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (INGEMIN), GEOLÓGICA BASE 1:100,000, 1999 - 2010  
 - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI), INVENTARIO DE POZOS, 2000 - 2011  
 - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI), CENSO HIDRICO, 2011 - 2013  
 - PETROECUADOR, INVENTARIO DE POZOS, PROYECTO MAPA HIDROGEOLOGICO QUINAYAS 2006



## UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

ERATEMA	SISTEMA	SUBSISTEMA	UNIDADES GEOLOGICAS	UNIDADES HIDROGEOLOGICAS				
MESOZOICO	CRETACICO		DUar	DUNAS	1			
			Dc	DEPOSITO COLLUVIAL	2			
			Da	DEPOSITO ALLUVIAL	3			
			Dae	DEPOSITO ALLUVIA DE ESTERO	4			
			QT	FM. TABLAZO	5			
			CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	PI2	FM. PUNÁ (M. LCOIUAZA)	6
						PIPu	FM. PUNÁ (M.PLACER)	7
						MP1	FM. PROGRESO	8
						MP2	FM. PROGRFSO	9
						M Vg	FM. TOSAGUA (M. VILLINGOTA)	10
				TERCIARIO	MIOCENO - OLIUGOCENO	M Db	FM. TOSAGUA (M. DOS BOCAS)	11
						O Zp	FM. TOSAGUA (M. ZAPOTAL)	12
						PCAz	G. AZUCAR	13
						E An	G. ANCÓN	14
						EE	FM. SAN EDUARDO	15
						KK	FM. CAYO	16
						K P	FM. PIÑÓN	17

## CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS

Acuíferos potenciales. Permeabilidad muy alta por porosidad. Extensión local.	10	Fm. Tosagua (M. Villingota). Lutitas diatomáceas y arcillas blancas.	Acuífero. Extensión local.
Acuíferos potenciales. Permeabilidad muy alta por porosidad. Extensión local. Sin pozos confirmados.	11	Fm. Tosagua (M. Dos Bocas).- Constituida por arcillas chocolate, areniscas, intercalaciones de vetillas de yeso.	Acuífero.
Acuífero potencial Manantial de Guangala. Acuíferos Rio Seco Monteverde. Permeabilidad muy alta por porosidad. Extensión local. Profundidad de nivel de agua baja, entre 3 a 7 m. Pozos someros.	12	Fm. Tosagua (M. Zapotal).- Areniscas, lutitas y conglomerados.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media por porosidad. Extensión local y discontinua. Pozos asociados al sistema acuífero El Consuelo.
Acuífero potencial General Villamil. Permeabilidad muy baja por porosidad. Profundidad de nivel de agua bajo, entre 0,7 y 10 m. Pozos someros y profundos, de hasta 80 m. Calidad química regular. Aguas ligeramente salobres, con conductividades de hasta 1790 µS/cm y pH entre 6 y 7.	13	G. Azúcar.- Constituida principalmente por areniscas, lutitas y conglomerados silíceos.	Acuíferos potenciales. Permeabilidad alta a media por porosidad. Extensa.
Acuífero Atahualpa. Permeabilidad alta a media por porosidad. Extensión local. Profundidad de nivel de agua baja, de 5 a 20 m. Pozos someros y profundos, entre 8 y 88 m. Calidad química de agua regular a mala. Agua salobre con CE superiores a 2000 µS/cm, y pH 7.	14	G. Ancón.- Constituye tres formaciones: Clay Pebble Bed, Acuífero potenciales. Permeabilidad alta Socorro y Seco. Se presentan principalmente: areniscas, a media. Extensión local y discontinua. limolitas, lutitas, conglomerados y colizas.	Sin pozos confirmados.
Aquífero. Extensión local.	15	Fm. San Eduardo.- Constituida por calizas arrecifales. Permeabilidad media. Extensión local. Sin calcarenita turbidita hasta calcirudita, bien estratificada.	Sin pozos confirmados.
Acuíferos potenciales. Permeabilidad media baja. Extensión local. Sin pozos confirmados.	16	Fm. Cayo.- Comprende pizarras arcillosas y tobáceas muy silíceas de color verde oscuro a gris verduzco; areniscas, bastas, arenosas, tobáceas hasta conglomeradas.	Permeabilidad baja por fisuración. Extensión local. Sin pozos confirmados.
Acuífero potencial El Consuelo. Permeabilidad media alta por porosidad. Local. Profundidad de nivel de agua baja, entre 2,3 y 28,5 m. Se requiere completar información de pozos para más detalles.	17	Fm. Piñón.- Rocas extrusivas tipo basalto o andesitas basálticas. Consiste de piróclastos no estratificados, con lavas porfíricas, brechas y aglomerados de tipo basálticos interestratificados.	Acuífero.
Acuífero. Extensión local.			

EMPRESA PÚBLICA ESPOL TECH

ELABORACIÓN DEL MAPA I HIDROGEOLOGICO A ESCALA 1:250,000

Mapa Hidrogeológico Santa Elena

FECHA: 17/05/2014

Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de Santa Elena.  
 Fuente: (CIPAT-ESPOL & SENAGUA, 2014)

# CAPÍTULO 4

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

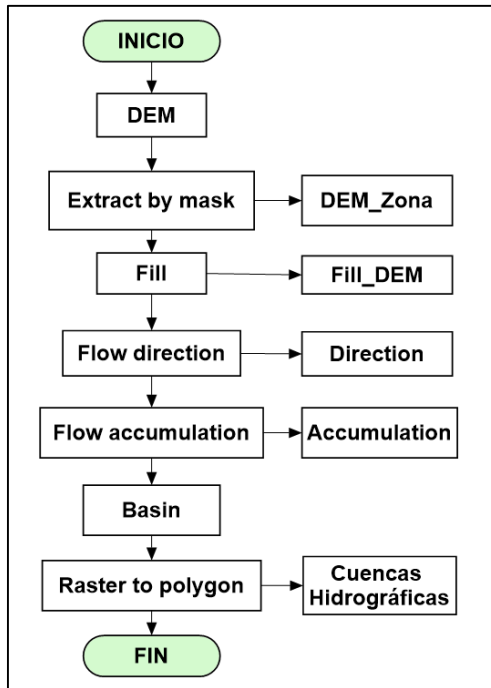
### 4.1 Fase I: Recopilación de Información

Esta primera fase es indispensable para el progreso del presente proyecto y también permitió conseguir el enfoque correcto para plantear una metodología acorde a la problemática, debido a que, se buscó información relevante para el arranque del estudio en cuestión. Esto se llevó a cabo a través de la lectura de publicaciones científicas, informes técnicos previos, libros de la temática en estudio y tesis, en las cuales se recopiló una guía de los métodos que se pueden realizar para establecer una propuesta de gestión integral del recurso agua.

El reconocimiento previo del área de estudio fue posible de realizar mediante la búsqueda en geoportales e informes previos del sector de estudio. Cabe mencionar que, en esta fase la relación con el cliente, en este caso la empresa JAAPMAN fue importante ya que con ellos se establece el producto a entregar, sus necesidades y los recursos disponibles.

### 4.2 Fase II: Delimitación de las cuencas hidrográficas. Aplicación GIS

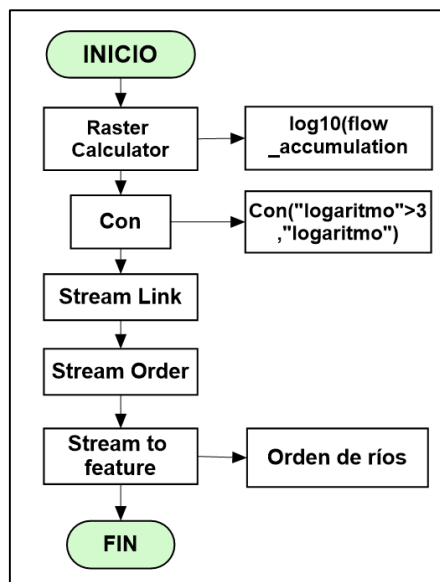
Esta fase consiste en la delimitación de las subcuencas hidrográficas de los ríos: Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar, con la finalidad de brindar una información actualizada y a mayor detalle respecto a trabajos previos realizados en la zona. Además, se pretende determinar en orden de los drenajes que abarcan la zona de estudio. De manera sistemática en la Figura 4.1 a continuación se expone el proceso para la delimitar las cuencas.



**Figura 4.1. Proceso Metodológico para delimitación de cuencas hidrográficas en SIG.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Una vez delimitadas las tres subcuencas de los ríos principales de la zona de estudio, se precede a determinar su orden y frecuencia de drenaje con las herramientas que se observan en la Figura 4.2.

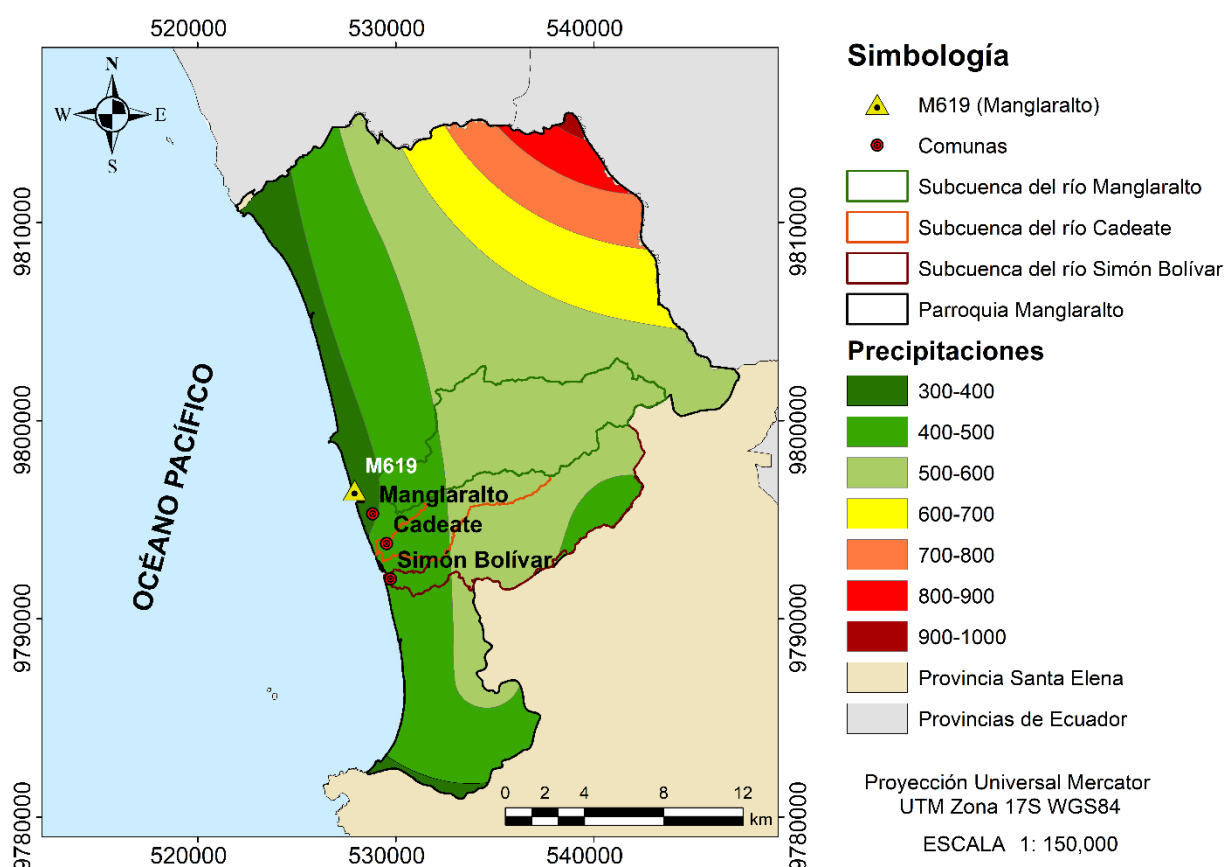


**Figura 4.2. Proceso Metodológico para definir el orden de los ríos, empleando SIG.**

**Fuente: Elaboración propia.**



Además, en esta fase fue de vital importancia analizar las precipitaciones de la zona de estudio, donde se tiene un rango de precipitaciones entre 300-600 mm/año (ver Figura 4.3), lo cual concuerda con los datos de las precipitaciones históricas tomadas de la estación meteorológica de Manglaralto (M619) resumidas en la Tabla 3.2 de la sección 3.3. Dicha estación se encuentra activa, es de tipo pluviométrica y es manipulada por la EX – CEDEGE (INAMHI, 2017).



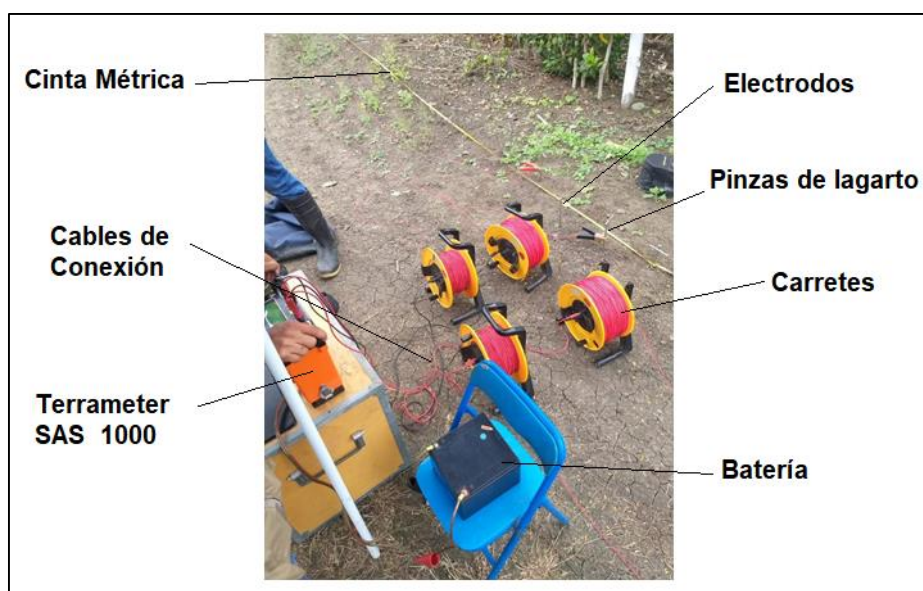
**Figura 4.3. Mapa de Precipitaciones de la Zona de Estudio.**

**Fuente: Modificado de (IEE., 2012)**

### **4.3 Fase III: Prospección Geoeléctrica**

La campaña de prospección geoeléctrica consiste en la reinterpretación de 25 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs) realizados en estudios anteriores y la interpretación de 6 SEVs realizados en el periodo de julio-diciembre del 2019 dentro del proyecto de vinculación que se lleva a cabo en CIPAT-ESPOL en Manglaralto. Los 25 SEVS se distribuyeron de la siguiente manera: 16 SEVs en los aluviales de la subcuenca del río Cadeate y 9 SEVs en la subcuenca del río Simón Bolívar en la zona media y baja.

Los sondeos eléctricos verticales fueron realizados con el equipo TERRAMETER SAS 1000, el mismo que tiene una precisión del 1% y se utilizó el arreglo tipo Schlumberger (ver Figura 4.4). Este equipo se encarga de enviar corriente eléctrica mediante dos electrodos externos, denominados [AB], los cuales se fijan en el terreno y los electrodos internos o [MN] miden la diferencia de potencial ( $\Delta V$ ), para de esta forma calcular la resistividad de los materiales del subsuelo. Una vez obtenidas las mediciones de potencial se hacen las gráficas de resistividades aparentes para cada sondeo mediante el software IPI2WIN, el mismo que grafica en el eje horizontal la distancia media de los electrodos externos ( $AB/2$ ) y en el eje vertical las resistividades obtenidas. Como resultado, se tiene la curva de las resistividades aparentes donde se puede establecer las capas geoelectricas acorde a las características de los materiales encontrados en el sector de análisis (Valencia, 2017).



**Figura 4.4. Arreglo tipo Schlumberger para realización de SEVs.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Cabe mencionar que la selección del arreglo geofísico tipo Schlumberger se debe a su mayor eficacia, requiere de menor extensión del terreno y se consiguen buenos alcances de profundidad a medida que se aumenta la distancia de los electrodos externos [AB]. En la Figura 4.5 se presenta una esquematización de este arreglo mencionado y en la Figura 4.6 el desarrollo de las campañas de geoelectrica realizado en la zona. En el trabajo de campo es necesario tener en cuenta que no exista perturbaciones ya sean naturales como heces de ganado por la emisión de metano que altera o genera lecturas

erróneas del equipo. Por otro lado, la acción humana también puede influenciar, como es el caso de ubicar un sondeo en las proximidades de cableado eléctrico.



**Figura 4.5. Arreglo tipo Schlumberger en campo.**

**Fuente: Propia.**



**Figura 4.6. Trabajo de campo en Manglaralto.**

**Fuente: Propia**

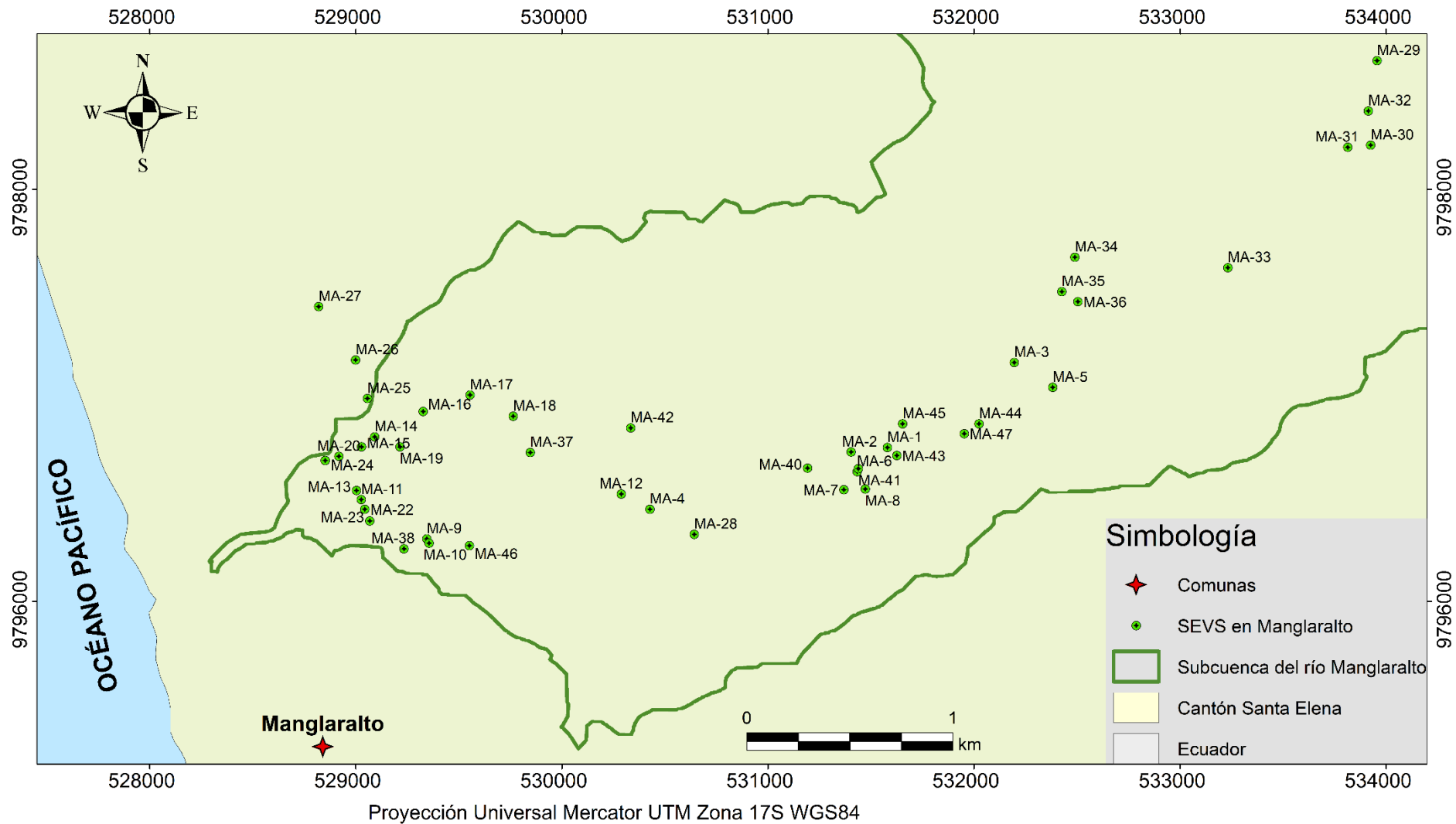
Otros factores para tomar en cuenta durante el procesamiento de los datos en el software IPI2WIN es el error, este no debe excederse al 6% para considerarse confiable. Por otro lado, al momento de la asignación de una determinada litología acorde a los rangos de

resistividades obtenidos hay que tener en cuenta que hay diversas posibilidades de material geológico para un mismo rango de resistividades. Además, como la zona donde se realizaron los sondeos pertenece mayormente a un aluvial, entonces se presentan cambios en la litología a causa de los cambios en el cauce del río, por lo cual no se tiene una precisa continuidad respecto a la geología predominante de la zona. Además, hay que considerar que la resistividad de los materiales disminuye ante la presencia de sales disueltas en el agua subterránea, esto se debe a que estos acuíferos se ubican próximos al mar, por lo cual se puede evidenciar la intrusión salina o ingresión de agua de mar en los acuíferos.

#### **4.3.1 SEVs en Manglaralto**

En el territorio perteneciente a la subcuenca de Manglaralto se han realizado 47 sondeos eléctricos verticales en total, de los cuales 41 SEVs han sido previamente interpretados en otros estudios de caso de la zona (Valencia, 2017) y (Quiñonez, 2019), cuya su ubicación se detalla en la (Tabla 4.1 y

Tabla 4.2). Los 6 SEVs restantes (ver Tabla 4.3) han sido tomados en el periodo de julio a diciembre del 2019 (época seca) y se los interpretará en la presente investigación. La ubicación de la totalidad de los sondeos mencionados se lo esquematiza en la Figura 4.7.



**Figura 4.7. SEVs en la subcuenca del río Manglaralto.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 4.1. Ubicación de SEVs en Comuna Manglaralto.**

Fuente: Adaptado de (Valencia, 2017) (Arévalo, 2017) (CIPAT-ESPOL, 2015)

<b>CÓDIGO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>FECHA</b>
MA-01	531580	9796747	31	05-08/2016
MA-02	531404	9796725	29	05-08/2016
MA-03	532195	9797160	33	05-08/2016
MA-04	530428	9796448	20	05-08/2016
MA-05	532382	9797039	45	05-08/2016
MA-06	531433	9796630	30	05-08/2016
MA-07	531369	9796543	31	05-08/2016
MA-08	531473	9796546	32	05-08/2016
MA-09	529345	9796304	14	05-08/2016
MA-10	529356	9796283	14	05-08/2016
MA-11	529027	9796495	10	05-08/2016
MA-12	530289	9796522	21	05-08/2016

**Tabla 4.2. SEVs realizados en Manglaralto en el periodo marzo-abril del 2019.**

Fuente: Modificado de (Quiñonez, 2019)

<b>CÓDIGO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>FECHA</b>
MA-13	529004	9796539	7	12-03-19
MA-14	529092	9796799	12	19-03-19
MA-15	529028	9796750	14	19-03-19
MA-16	529327	9796922	18	20-03-19
MA-17	529555	9797002	23	20-03-19
MA-18	529764	9796899	19	20-03-19
MA-19	529215	9796750	13	20-03-19
MA-20	528918	9796704	12	20-03-19
MA-21	530269	9789562	8	21-03-19
MA-22	529044	9796448	10	21-03-19
MA-23	529068	9796391	11	21-03-19
MA-24	528852	9796684	7	26-03-19
MA-25	529057	9796985	9	26-03-19
MA-26	528999	9797172	21	26-03-19
MA-27	528820	9797431	39	26-03-19
MA-28	530643	9796326	25	26-03-19
MA-29	533956	9798625	58	27-03-19
MA-30	533925	9798215	56	27-03-19
MA-31	533814	9798205	54	27-03-19

<b>CÓDIGO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>FECHA</b>
MA-32	533913	9798381	58	27-03-19
MA-33	533232	9797620	43	27-03-19
MA-34	532489	9797671	35	27-03-19
MA-35	532426	9797504	34	27-03-19
MA-36	532504	9797455	38	27-03-19
MA-37	529847	9796723	14	28-03-19
MA-38	529234	9796256	8	28-03-19
MA-39	529736	9799538	4	28-03-19
MA-40	531193	9796647	12	03-04-19
MA-41	531439	9796644	23	03-04-19

**Tabla 4.3. SEVs realizados en Manglaralto en el periodo julio-diciembre del 2019.**

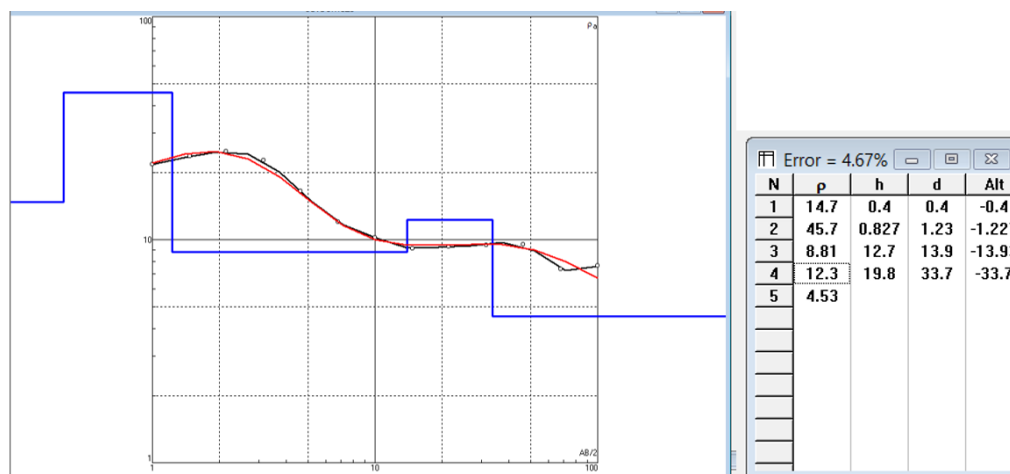
**Fuente: Elaboración propia.**

<b>Código</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Fecha</b>
MA-42	530335	9796842	28	19-07-19
MA-43	531626	9796708	17	08-08-19
MA-44	532025	9796862	17	08-08-19
MA-45	531654	9796821	42	12-09-19
MA-46	529552	9796271	17	26-09-19
MA-47	531953	9796814	46	09-12-19

#### **4.3.2 Interpretación de SEVs en Manglaralto**

Se realizó una campaña de geoelectrica en los meses de julio a diciembre del 2019 (época seca) como actividad del proyecto de vinculación que se desarrolla en Manglaralto en conjunto con CIPAT-ESPOL. Los datos obtenidos se procesaron con el software IPI2WIN obteniendo las curvas de resistividad aparente, la profundidad y cantidad de capas litológicas y el error del ensayo, como se observa en la Figura 4.8, con un error del 4.67% y, posteriormente se realiza la interpretación y asignación de litología según el rango de resistividades que presente cada estrato (Ver Tabla 4.4). En la sección 6 de los ANEXOS-D se muestran las interpretaciones realizadas con el software IPI2WIN de los sondeos desde SEV-MA-43 al SEV-MA-47.





**Figura 4.8. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-42.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 4.4. Capas de resistividad del SEV-MA-42.**

**Fuente: Elaboración propia**

<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Espesor h(m)</b>	<b>Profundidad d(m)</b>	<b>Resistividad <math>\rho</math> (<math>\Omega</math>.m)</b>
<b>1</b>	Suelo arenoso con areno-arcilloso (Material semipermeable a permeable)	0.4	0.4	14.7
<b>2</b>	Gravas y arenas (Material muy permeable)	0.827	1.23	45.7
<b>3</b>	Limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	12.7	13.9	8.81
<b>4</b>	Continuidad de limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	19.8	33.7	12.3
<b>5</b>	Limo arcilloso (Material de baja permeabilidad)		-	4.53

### **4.3.3 SEVs en Cadeate**

Se realizará la reinterpretación de 16 SEVs tomados en la subcuenca del río Cadeate en estudios previos (Toalombo, 2016) (CIPAT-ESPOL, 2015) durante la época seca en el año 2015 con la finalidad de correlacionar la información litológica y realizar una correcta selección de zonas para construir un nuevo pozo en la comuna Cadeate y de esta forma contribuir a la recarga de los acuíferos del sector. La ubicación geográfica de dichos SEVs se muestra en la Tabla 4.5.



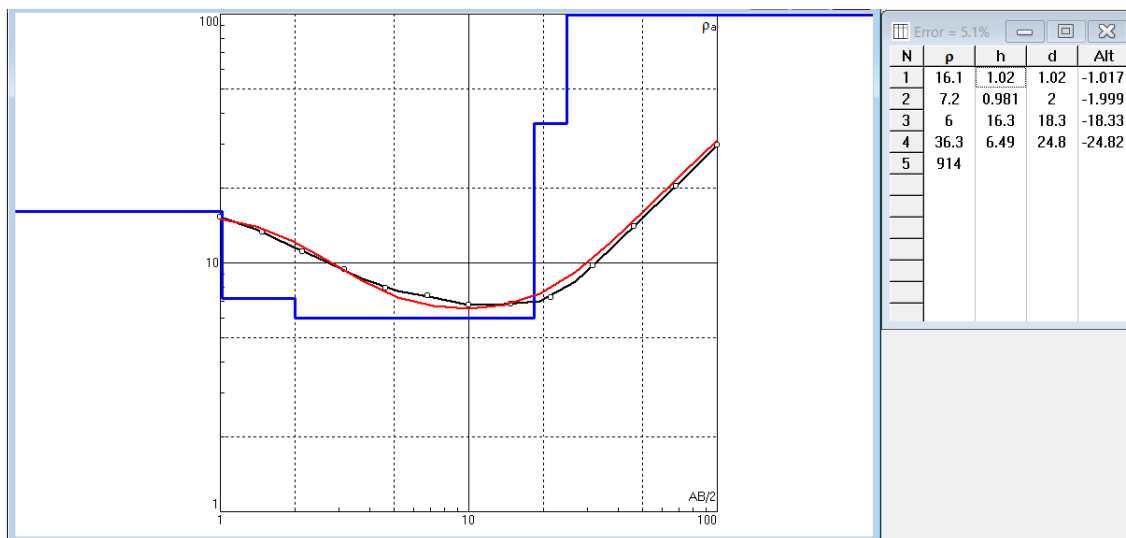
**Tabla 4.5. Ubicación de SEVs en Comuna Cadeate.**

**Fuente: Adaptado de (Valencia, 2017)(Toalombo, 2016) (CIPAT-ESPOL, 2015)**

<b>CÓDIGO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>FECHA</b>
CD-01	531526	9794949	40	03-10-2015
CD-02	531031	9794341	29	03-10-2015
CD-03	531304	9794645	32	03-10-2015
CD-04	531304	9794648	32	10-2015
CD-05	530862	9794252	27	10-2015
CD-06	531472	9794769	38	10-2015
CD-07	532421	9794679	83	10-2015
CD-08	532702	9794939	110	10-2015
CD-09	531635	9794520	53	10-2015
CD-10	531344	9794419	34	10-2015
CD-11	531096	9794369	31	10-2015
CD-12	531047	9794349	31	10-2015
CD-13	530621	9794022	24	10-2015
CD-14	530426	9793895	19	10-2015
CD-15	530230	9793766	15	10-2015
CD-16	529779	9793678	12	10-2015

#### **4.3.4 Interpretación en IPI2WIN de los SEV en Cadeate**

Con las resistividades obtenidas se interpretaron y asignaron litologías a cada estrato de cada sondeo distribuyéndolos acorde con su profundidad. El subsuelo de la subcuenca de Cadeate está conformado por cinco capas características: arena limosa, limo arcilloso, arenas con intercalaciones de arcilla, gravas y arenas, además de la existencia del basamento (roca consolidada). En la Figura 4.9 se observa la curva de resistividad aparente obtenido del software IPI2WIN, en la cual se tiene un buen ajuste con la curva teórica (curva de color negro), lo cual se comprueba con el porcentaje de error obtenido, que en este caso fue del 5.1%. En la Tabla 4.6 se adjunta la asignación de la litología acorde a las capas que arrojó el software. Cabe mencionar que, en la sección 6, de los ANEXOS-B se adjunta las interpretaciones realizadas con el software IPI2WIN de los sondeos desde SEV-CD-02 al SEV-CD-16.



**Figura 4.9. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-01.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 4.6. Capas de resistividad del SEV-CD-01.**

**Fuente: Elaboración propia**

<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Espesor h(m)</b>	<b>Profundidad d(m)</b>	<b>Resistividad ρ (Ω.m)</b>
<b>1</b>	Grava y areno-limoso (Material permeable)	1.02	1.02	16.1
<b>2</b>	Limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	0.981	2	7.2
<b>3</b>	Continuidad de Limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	16.3	18.3	6
<b>4</b>	<b>Gravas y arenas</b> <b>(Material permeable)</b>	<b>6.49</b>	<b>24.8</b>	<b>36.3</b>
<b>5</b>	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material impermeable)		-	914

#### **4.3.5 SEVs en Libertador Bolívar**

Se han recopilado datos de 9 SEVs realizados en estudios previos (Valencia, 2017) (Toalombo, 2016). Estos sondeos se ubican en la subcuenca del río Simón Bolívar (ver Tabla 4.7), distribuidos a lo largo de depósitos aluviales principalmente.

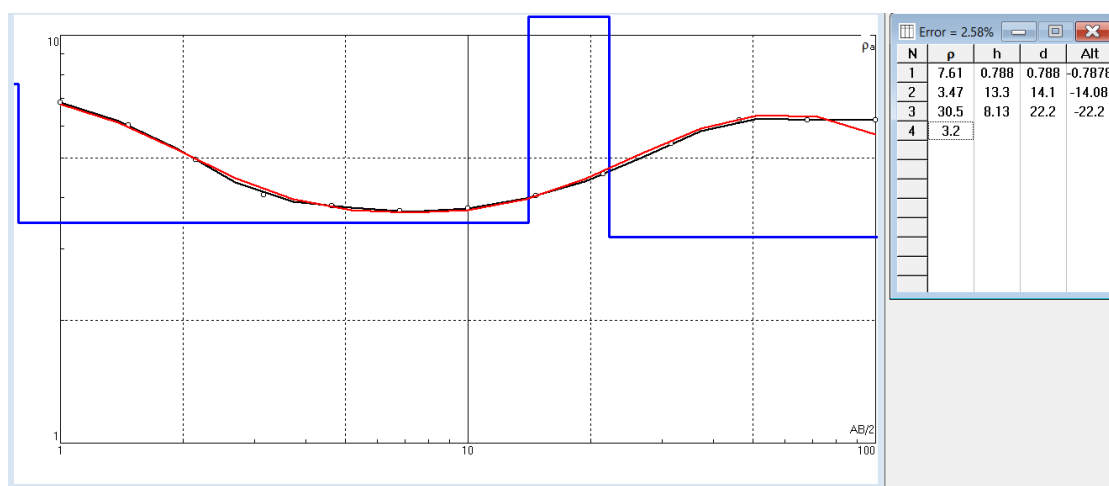
**Tabla 4.7. Ubicación de SEVs en comuna Libertador Bolívar.**

**Fuente: Adaptado de (Valencia, 2017) (Toalombo, 2016) (CIPAT-ESPOL, 2015)**

CÓDIGO	X	Y	Z	FECHA
LB-01	531433	9792191	15	12-09-2014
LB-02	531859	9792228	21	12-09-2014
LB-03	531737	9792474	28	12-09-2014
LB-04	531939	9792381	24	01-06-2015
LB-05	531491	9792246	20	01-06-2015
LB-06	530918	9792248	16	01-06-2015
LB-07	532587	9792844	43	2016
LB-08	532246	9792722	51	2016
LB-09	531874	9792537	28	2016

#### 4.3.6 Interpretación en IPI2WIN de SEVs en Libertador Bolívar

En la Figura 4.10 se observa la curva de resistividad aparente obtenido del software IPI2WIN, en la cual se tiene un buen ajuste con la curva teórica (curva de color rojo), lo cual se comprueba con el porcentaje de error obtenido, que en este caso fue del 2.58%. En la Tabla 4.8 se adjunta la asignación de la litología acorde a las capas que arrojó el software. Las interpretaciones realizadas con el software IPI2WIN de los sondeos SEV-LB-02 al SEV-LB-09 se describen en la sección 6 de los ANEXOS-C.



**Figura 4.10. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-01.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 4.8. Capas de resistividad del SEV-LB-01.**

**Fuente: Elaboración propia.**

<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Espesor h(m)</b>	<b>Profundidad d(m)</b>	<b>Resistividad <math>\rho</math> (<math>\Omega</math>.m)</b>
1	Limo arenoso (Material semipermeable)	0.788	0.788	7.61
2	Limo arcilloso (Material poco permeable a semipermeable y/o salino)	13.3	14.1	3.47
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>8.13</b>	<b>22.2</b>	<b>30.5</b>
4	Limo arcilloso (Material poco permeable y/o salino)		-	3.2

En la sección 0 de los anexos se adjunta las interpretaciones realizadas con el software IPI2WIN de los sondeos desde SEV-LB-02 al SEV-LB-09.

#### **4.4 Fase IV: Análisis técnico y propuesta de diseño para el nuevo pozo requerido**

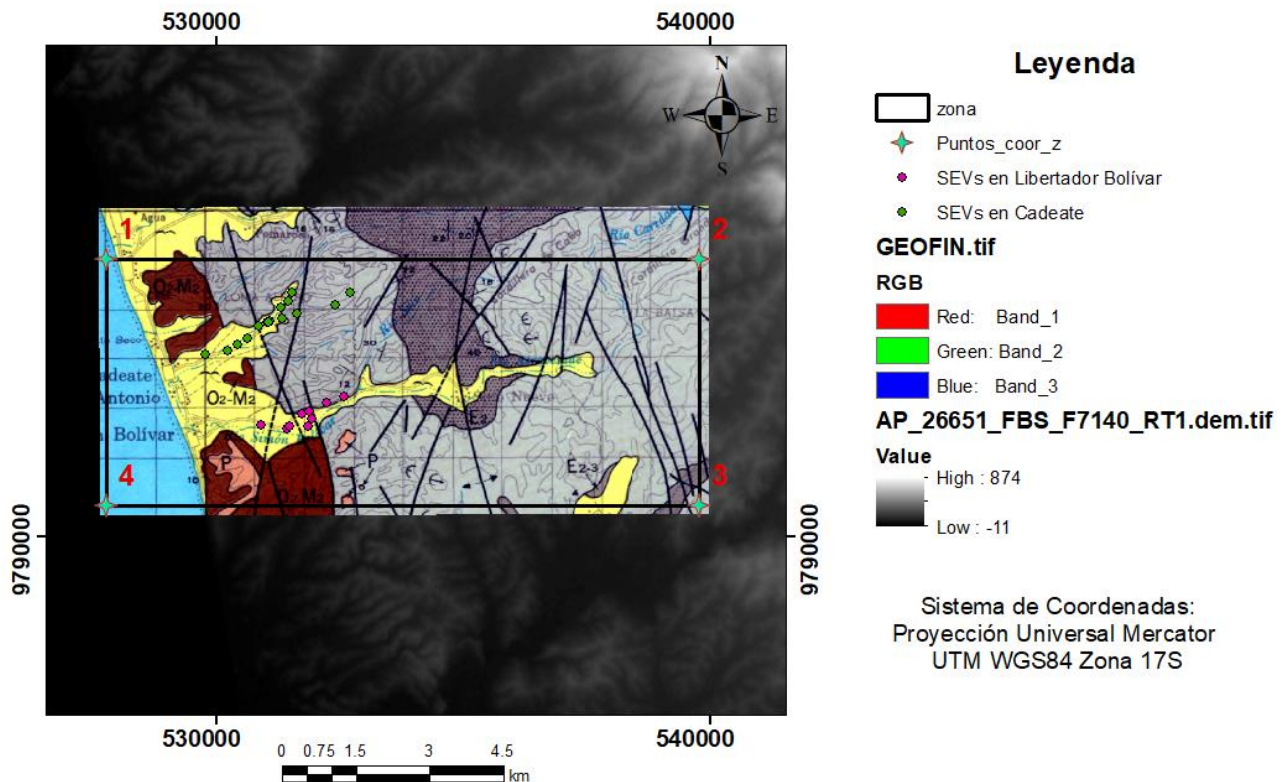
Esta fase consiste en la realización de un análisis técnico de las subcuencas de los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar respectivamente, dicho análisis tiene como finalidad la generación de una propuesta de ubicación para el nuevo pozo solicitado por la JAAPMAN. Para esto, se requiere de la aplicación del software GeoModeller en las comunas Libertador Bolívar y Cadeate para la elaboración de un esquema hidrogeológico de la zona.

Para este esquema se tomó en cuenta tres parámetros: 1) Fisiografía y/o topografía de la zona de estudio; 2) Geología del sector y 3) Hidrogeología (parámetros de permeabilidad del acuífero). Ahora bien, para emitir la recomendación técnica de donde construir nuevos pozos de agua respondiendo a la solicitud de la JAAPMAN se debe tomar en cuenta zonas estratégicas de acumulación de agua, como es el caso de las bolsonadas, ya que es aquí donde el lecho del río es más profundo y, por ende, hay mayor y más duradera captación de agua, considerándolos lugares aptos para la construcción de pozos.

GeoModeller es un software de modelamiento geológico 3D que se basa en la utilización de herramientas geológicas, así como mapas, cortes geológicos y sondeos. En este

caso, las herramientas que se utilizaron para el modelamiento de las geometrías de los acuíferos de Cadeate y Libertador Bolívar fueron:

- **Modelo Digital de Elevación:** Global Digital Elevation Model (ASTGTM), del satélite ASTER, con resolución 12.5 m. Obtenido del portal de la USGS.
- **Delimitación geográfica del modelo:** límites N-S y E-O, profundidad (ver Figura 4.11).



**Figura 4.11. Ubicación Geográfica para realización del esquema.**

**Fuente: Propia**

- **Contactos geológicos:** digitalización a partir del mapa geológico del sector (ver Figura 4.13), se empleó la Hoja Manglaralto (3488 MIV-E) a Escala 1: 100.000.
- **Datos de Sondeos Eléctricos Verticales:** se integraron en formato Excel (.csv) a través de 3 ficheros: Surveys, Collars y Geology (ver Figura 4.12).  
 Collar: contiene código de sondaje, posición X, Y, Z, profundidad.  
 Surveys: contiene código de sondaje, dip, azimuth y profundidad.  
 Geology: contiene código de sondaje, desde, hasta, litología.

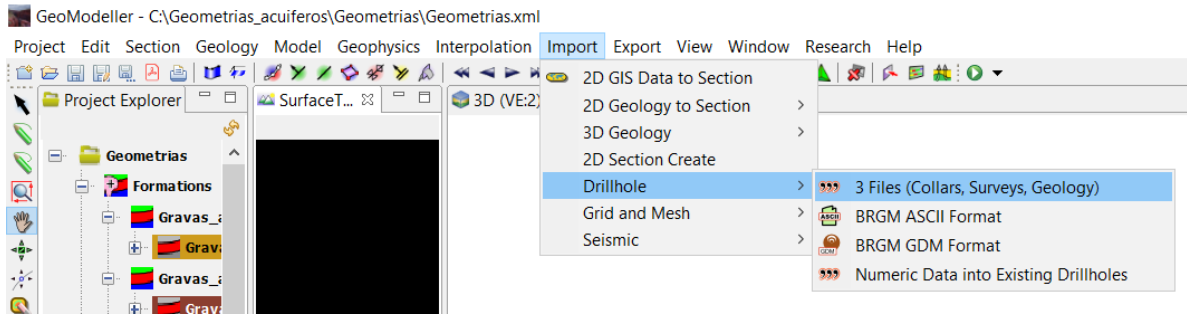


Figura 4.12. Importación de datos en software GeoModeller.

Fuente: Propia

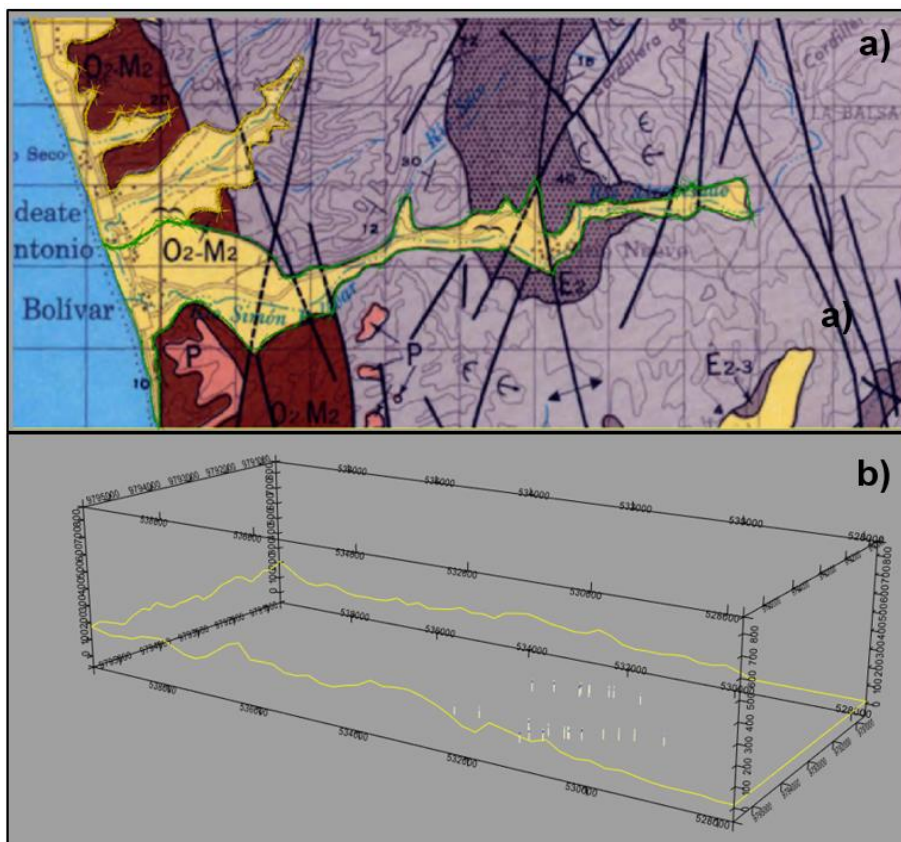
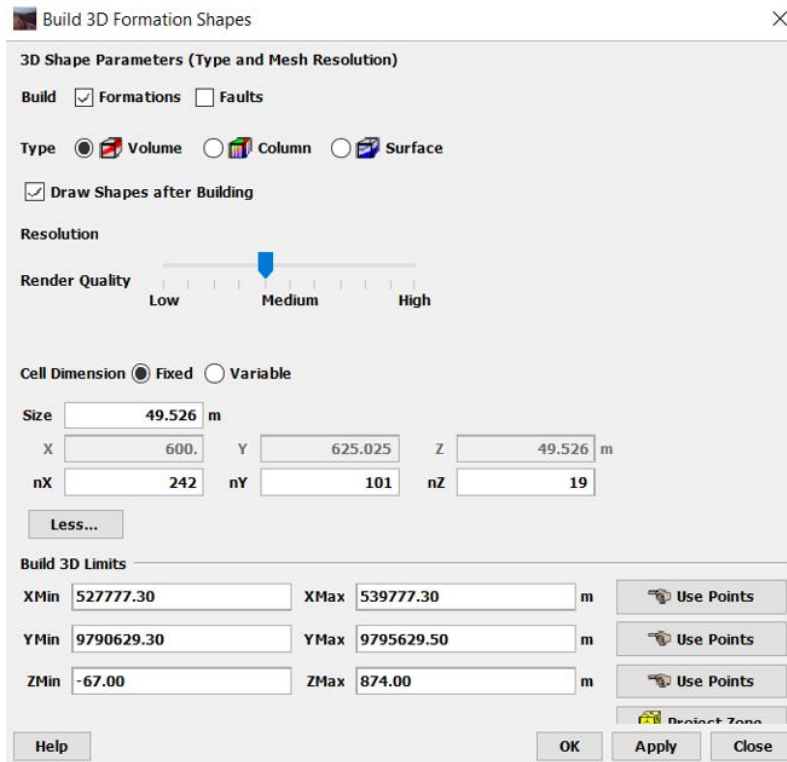


Figura 4.13. Procesamiento de Información en GeoModeller. a) Digitalización de contactos. b) Visualización de SEVs con exageración de escala vertical 2:1.

Fuente: Elaboración propia.

- **Creación de las formaciones geológicas:** para esto se empleó la herramienta Geology>Create Geology Data, donde se define al menos un dato de orientación para su modelación tridimensional (3D).
- **Computación del esquema hidrogeológico y generación de vistas 2D y 3D:** se computó el esquema mediante la herramienta Model>Compute the model, para lo cual es necesario seleccionar las formaciones a modelar. Luego se construyen

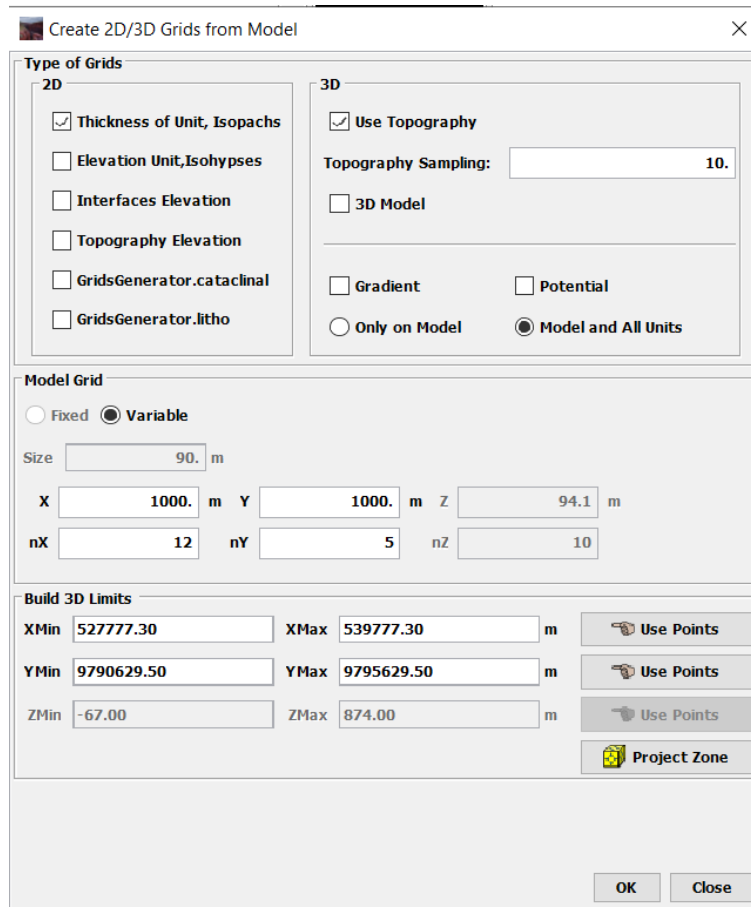
las superficies y volúmenes del modelo, se lo realizó empleando la herramienta Model>Build 3D Formations Shapes (ver Figura 4.14 ), es importante seleccionar la dimensión de celda, en este caso se escogió en formato “Fixed” ya que mejoró la resolución al hacer más finas las celdas del modelo.



**Figura 4.14. Proceso de Modelado 3D.**

**Fuente: Elaboración propia. (Software GeoModeller)**

- **Cálculo del volumen de las formaciones:** en base al modelo 3D obtenido previamente se creó una malla a través de la herramienta 3D Geology>Create 3D Grid with Physical Properties, es importante mencionar que, entre más pequeño sea el tamaño de las celdas el cálculo del volumen será más preciso. A partir de este mallado creado se generó un nuevo campo llamado Add Current Model Field, el mismo que permite consultar el histograma de los datos estadísticos para cada formación en el que se muestra su volumen respectivo.
- **Cálculo del espesor de las formaciones:** se creó una malla con la herramienta >Create 2D Grid with Physical Properties (ver Figura 4.15 ) a partir del modelo 3D que genera histogramas de Isópacos de cada formación modelada, donde la media representa el espesor bruto medio de la respectiva formación en análisis.



**Figura 4.15. Cálculo de espesor de las formaciones geológicas.**

**Fuente: Elaboración propia. (Software GeoModeller)**

#### **4.5 Fase V: Análisis de la Siembra y Cosecha de agua en las cuencas hidrográficas**

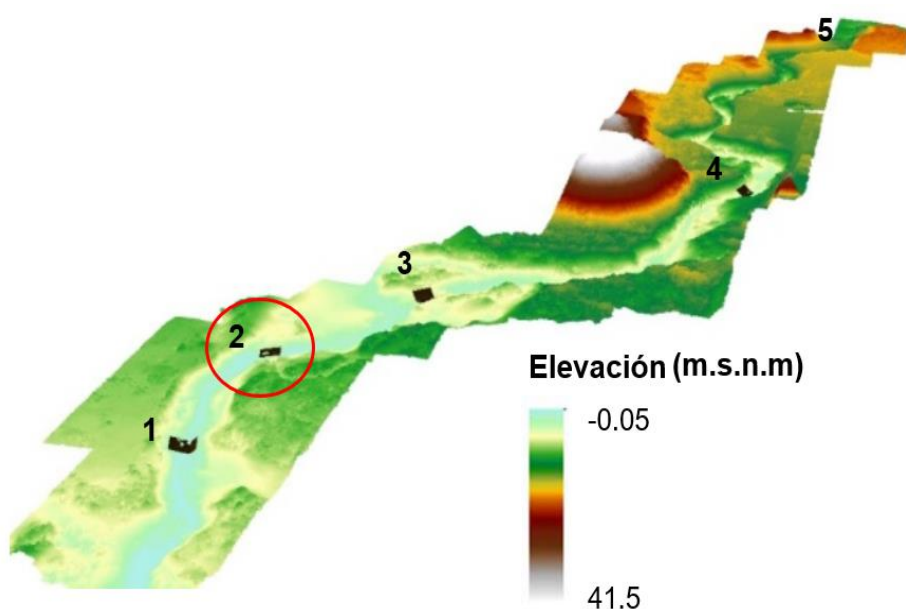
Esta fase comprende el análisis de la siembra y cosecha de agua de las subcuencas pertenecientes a la zona de estudio, para la posterior elaboración de una propuesta basada en las técnicas de rescate ancestral. En la actualidad, existen 12 pozos de agua que, debido a la alta demanda del recurso en el sector ha provocado la sobreexplotación del acuífero. Es por esto, que se necesita buscar otra solución para cumplir con dicha demanda. Existe la opción ingenieril, que sería la construcción de una represa de agua, pero esto requeriría mucho tiempo, un alto presupuesto y además implicaría la utilización de un terreno de gran área para su construcción, afectando los sectores productivos de la zona. Sin embargo, existe otra opción que se fundamenta en el rescate del conocimiento ancestral mediante la construcción de tapes/diques en el sector que actúan como un agente de recarga del acuífero.



Además, dentro de sus beneficios está el aspecto sociocultural; resulta más rentable, es 100 veces más económico que la construcción de una represa y, por último, resulta más sostenible con el medio ambiente ya que incluso ayudan a detener, en lo posible el avance de la intrusión salina que se evidencia en el acuífero costero de Manglaralto. Al momento de seleccionar un lugar para la construcción de los tapes se debe tener en cuenta el espesor del acuífero, ya que, a mayor espesor, mayor acumulación de agua y, por tanto, sería un lugar apto para dicho tape. Hasta la actualidad, se tienen 5 tapes dentro del territorio de la parroquia Manglaralto, su ubicación se detalla en la Tabla 4.9. De estos 5 tapes, 4 de ellos son artesanales y uno es de tipo técnico artesanal, como se observa en la Figura 4.16.

**Tabla 4.9 Ubicación de Tapes en Manglaralto.**  
**Fuente: Adaptado de (Carrión et al., 2018)**

Tape/Dique	X	Y	Tipo
1	528820	9796598	Artesanal
2	528938	9796674	Técnico-artesanal
3	529123	9796650	Artesanal
4	529532	9796579	Artesanal
5	530703	9796434	Artesanal



**Figura 4.16. Ubicación de los tapes a lo largo del río Manglaralto.**  
**Fuente: Adaptado de (Carrión et al., 2018)**

# CAPÍTULO 5

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis de las subcuencas hidrográficas administradas por la JAAPMAN mediante aplicación GIS

Se realizó la delimitación de las subcuencas dentro del territorio que administra la JAAPMAN, es decir, la subcuenca del río Manglaralto, la subcuenca del río Cadeate y la subcuenca del río Simón Bolívar (ver Figura 5.1), las cuales pertenecen a la cuenca de Manglaralto, la misma que se encarga de suministrar agua mediante los pozos construidos en el sector. Además, mediante aplicación GIS se determinó el orden, frecuencia y áreas de las subcuencas en estudio, como se observa en la Tabla 5.1. Cabe mencionar que la cuenca hidrográfica del río Manglaralto que abarca las 3 subcuencas en mención es de tipo exorreica ya que drena sus aguas directo al océano y el patrón de drenaje que predomina es de carácter dendrítico. Además, tomando en cuenta la clasificación de cuencas según su área dada por la Unión Geofísica Americana, se considerada como una cuenca pequeña puesto que no supera los 130 km<sup>2</sup> de extensión.

Una buena resolución de la topografía, en este caso, contar con curvas de nivel con un espaciado de 3 m permitió realizar una buena caracterización de las subcuencas ya que se obtuvo una densidad de cauces bastante aproximada a la realidad por su nivel de detalle. Además, con la interpretación de las curvas de nivel se comprobó las delimitaciones de las subcuencas obtenidas mediante la aplicación de herramientas de ArcGis ya que en las zonas de más bajas se evidenció una forma convexa de las curvas de nivel. En contraste, en las curvas de mayor cota se observó una forma cóncava.

**Tabla 5.1. Características de las subcuencas de la zona de estudio.**

**Fuente: Elaboración propia**

Parámetros de las subcuencas	Subcuenca del río Manglaralto	Subcuenca del río Cadeate	Subcuenca del río Simón Bolívar
Área (km <sup>2</sup> )	51.7	15.1	42.4
<b>Orden</b>	<b>Frecuencia de Drenaje</b>		
1	1242	374	1180
2	588	168	550
3	252	68	280
4	164	64	154
5	147	66	183
6	83	0	0
<b>Total</b>	2476	740	2347

Para un mejor análisis de las subcuencas se tomó en cuenta la morfología del terreno, para lo cual se realizó una reclasificación de las pendientes según (MAGAP, 2002) como se observa en la Tabla 5.2. En este sentido, las pendientes suaves ayudan a la infiltración de agua, debido a que permite la acumulación de agua por un mayor tiempo en el mismo lugar y así se efectúe la recarga de los acuíferos, es decir, a menor pendiente, inferior escorrentía y, en consecuencia, una mayor infiltración de agua, lo cual guarda congruencia con las zonas de mayor potencialidad de agua subterránea que se ubican en la cuenca baja de Manglaralto donde se tiene también un mayor espesor de la capa acuífera y son las zonas donde se han realizado las campañas de geoelectrónica que se discutirá en el siguiente apartado. Los ríos principales se emplazan en las zonas de pendientes planas (ver Figura 5.1) que en este caso en particular son los ríos de mayor extensión, es decir, los ríos: Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar.

**Tabla 5.2. Clasificación de Pendientes.**

**Fuente: Modificado de (MAGAP, 2002)**

Parámetro	Descripción	Clasificación
<b>Pendientes (°)</b>	0-3	Plano
	3-7	Regular
	7-14	Moderada
	14-27	Fuerte
	27-35	Muy Fuerte
	>35	Abrupta

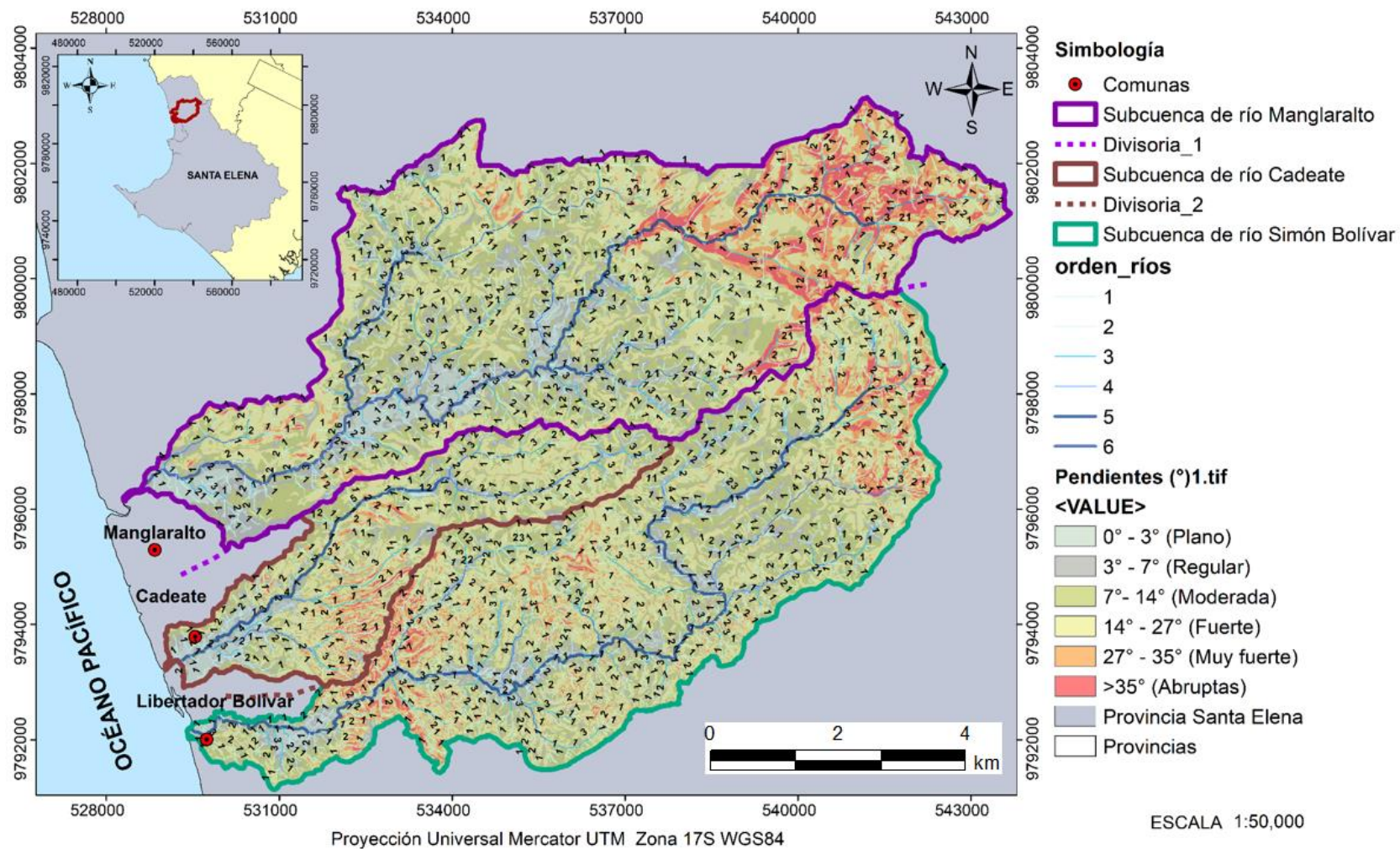


Figura 5.1 Delimitación de las subcuencas administradas por la JAAPMAN y su orden de drenaje.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Esquema hidrogeológico mediante interpretación de SEVs y aplicación de software GeoModeller

De acuerdo con trabajos anteriores realizados por CIPAT-ESPOL se desarrolló una tabla de resistividades de los materiales (Tabla 5.3), correlacionando con la geología del sector y acorde a su permeabilidad.

**Tabla 5.3. Rangos de resistividades medidas y su relación con el tipo de litología. (Capas geoeléctricas).**

**Fuente: Adaptado de (Valencia, 2017) (CIPAT-ESPOL, 2015)**

<b>Tipos de Litología</b>	<b>Resistividad esperada [ρ] (Ω.m)</b>
Arcillas con grado de salinidad (profundidad) (Material poco permeable, cercano a la costa-cuña salina)	0-2
Limo arcilloso (profundidad) (Material poco permeable y/o salino cercano a la costa-cuña salina)	2-6
Limo-arenoso (Material semipermeable a permeable)	6-16
Grava y Areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	16-30
Gravas y arenas (Material permeable)	30-60
Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (profundidad) (Material poco permeable a impermeable) Suelo húmedo (superficie) (Material semipermeable)	>60

## 5.2.1 Resultados de las Campañas de Geoelectrica en Cadeate

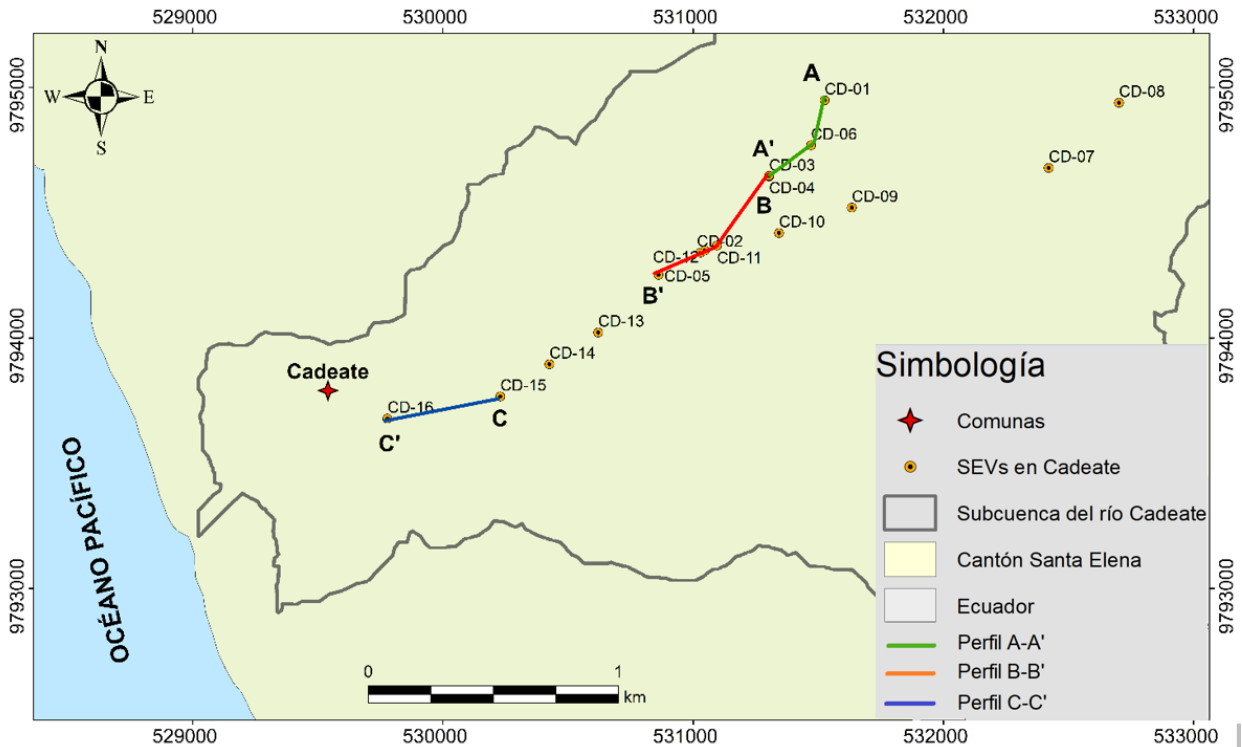


Figura 5.2. Ubicación de SEVs en Cadeate.

Fuente: Elaboración propia

Se reinterpretaron los 16 sondeos eléctricos verticales (ver sección 6, ANEXOS-B) realizados en Cadeate de acuerdo a su ubicación geográfica y se evidenció que los sondeos que presentan mayor posibilidad de encontrar aguas subterráneas son los sondeos 1, 2, 3, 6, 4, 5, 2, 10 y 11, de los cuales los sondeos 3, 1 y 6 ( Perfil A-A') y 5, 2, 4 (Perfil B-B') tienen mayores probabilidades de ser de mejor calidad, ya que se encuentran más alejados de la cuña salina (ver Figura 5.2), además, tienen resistividades elevadas, lo cual muestra la existencia de agua dulce con pocas sales disueltas. Las gravas y arenas son consideradas como las capas acuíferas por ser materiales muy permeables.

Para los sondeos SEV-CD-10 y SEV-CD-11, también se hallaron valores de resistividades medios, que indican la presencia de arenas y gravas, esto equivale a la presencia de agua con ligeros contenidos de sales disueltas. Finalmente, para los sondeos 15 y 16, la capa permeable, debido a sus valores de resistividad no tan

elevados, se asume que se encuentran con altos niveles de sales disueltas, debido a su cercanía con la cuña salina.

La Tabla 5.4 se muestran las resistividades obtenidas de las curvas parámetro de los sondeos SEV-CD-03, SEV-CD-06 y SEV-CD-01 (perfil A-A', ver Figura 5.2), el primero tiene una capa de grava y areno-limoso hasta los 0.51 m de profundidad desde la superficie, le sigue una capa de limo arenoso hasta los 16.1 m de profundidad, luego una capa de gravas y arenas hasta los 25 m de profundidad y, finalmente una capa de material consolidado hasta los 67m de profundidad máxima que alcanza el sondeo. En el segundo sondeo desde la superficie hasta los 0.57 m de profundidad se encuentra una capa de grava y areno limoso, a continuación, una capa de limo arenoso hasta los 17.1 m de profundidad, luego una capa de gravas y arenas hasta los 24 m de profundidad y, finalmente hasta los 67 m de profundidad se tiene una capa de material consolidado.

Para el SEV-CD-01 se tiene una capa grava y areno-limoso desde la superficie hasta 1.02 m de profundidad, seguida por una capa de limo arenoso hasta los 18.3 m, a continuación, una capa de gravas y arenas hasta los 24.8 m y para terminar una capa de material consolidado hasta los 67 m de profundidad.

En la Tabla 5.5 se representa los valores de las resistividades de los sondeos SEV-CD-05, SEV-CD-02, SEV-CD-04 (perfil B-B', ver Figura 5.2), el primer sondeo tiene hasta los 1.34 m una capa de grava y areno-limoso, hasta los 14.3 m limo arenoso, luego hasta los 24.8 m se tiene gravas y arenas y a hasta los 67 m que es la máxima profundidad alcanzada por el sondeo se evidencia una capa de material consolidado.; en el segundo sondeo se tiene hasta los 3.85 m grava y areno-limoso, continuando hasta los 16.1 m con dos capas de limo arenoso, hasta los 24.9 m de profundidad se encuentra gravas y arenas y, a la profundidad máxima alcanzada de 67m aproximadamente se tiene material consolidado.

En el último sondeo se tiene una capa de grava y areno-limoso hasta los 1.44 m, seguida de una capa limo-arenoso hasta los 14.5 m, luego se tiene gravas y arenas hasta los 23.4 m y al final se tiene material consolidado hasta los 67 m aproximadamente.

Tabla 5.4. Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-CD- 03, SEV-CD-06, SEV-CD-01;

Cadeate.

Fuente: Elaboración propia.

Cadeate		CD-03			CD-06			CD-01		
Estratos		Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología	Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología	Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología
	1	0.507	20	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	0.565	22.6	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	1.02	16.1	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)
	2	16.1	8.05	Limo arenoso (material semipermeable)	10.3	6	Limo arenoso (material semipermeable)	2	7.2	Limo arenoso (material semipermeable)
	3	25	34.2	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	17.1	6.21	Limo arenoso (material semipermeable)	18.3	6	Limo arenoso (material semipermeable)
	4	-	109	Material consolidado, (material poco permeable a impermeable)	24	32.5	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	24.8	36.3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>
	5				-	532	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (material poco permeable a impermeable)	-	914	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (material poco permeable a impermeable)

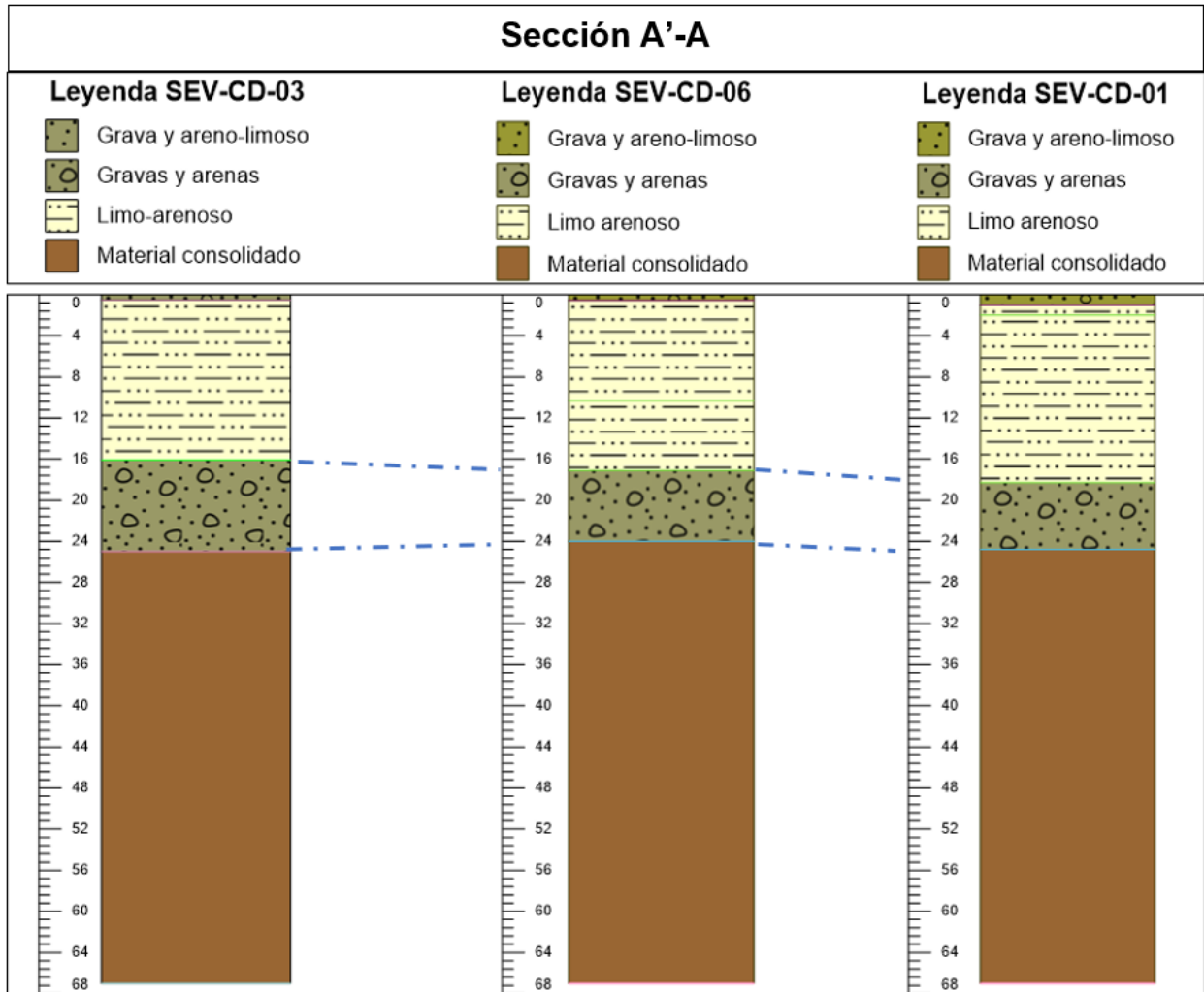


Tabla 5.5. Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-CD- 05, SEV-CD-02, SEV-CD-04;

Cadeate.

Fuente: Elaboración propia.

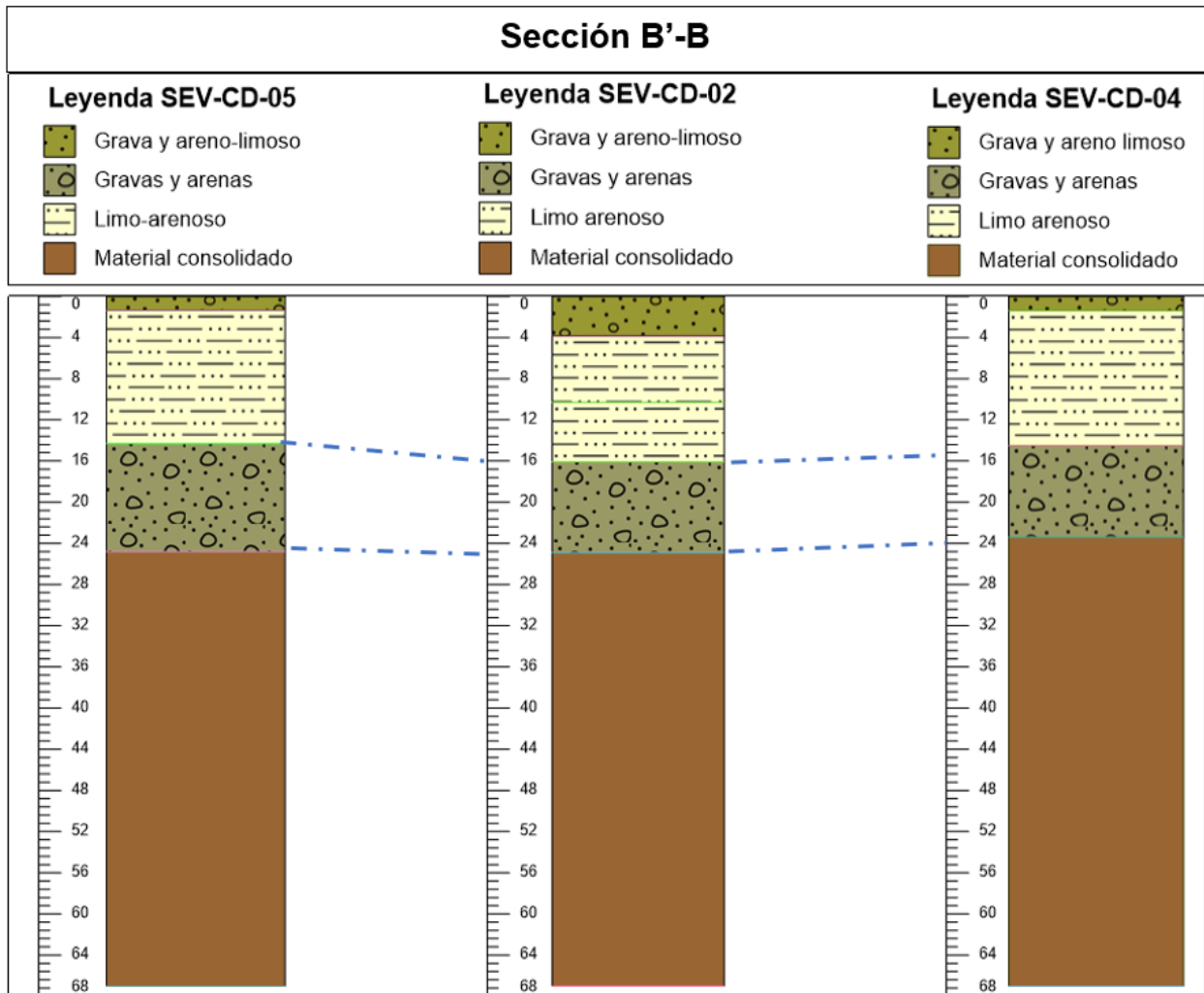
Cadeate		CD-05			CD-02			CD-04		
Estratos		Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología	Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología	Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología
	1	1.34	18.3	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	3.85	20.6	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	1.44	16.8	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)
	2	14.3	7.13	Limo-arenoso (material semipermeable)	10.3	8.79	Limo-arenoso (material semipermeable)	14.5	6.66	Limo-arenoso (material semipermeable)
	3	24.8	36	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	16.1	7.59	Limo-arenoso (material semipermeable)	23.4	33	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>
	4	-	624	Material consolidado	24.9	40.5	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	-	104	Material consolidado
	5					1829	Material consolidado (material poco permeable a impermeable)			



**Figura 5.3. Correlación de Columnas Litológicas de SEV-CD-03-06-01.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Respecto a la correlación dada por las columnas litológicas de los sondeos CD-03, CD-06, CD-01 (Figura 5.3 y sección A-A' en Figura 5.2) que fue determinada por su ubicación ya que son los sondeos más alejados de la cuña salina. Se han considerado los estratos con mejores condiciones de permeabilidad para almacenar agua en el subsuelo a los estratos de gravas y arenas presentes hasta los 25 m, 24 m y 24.8 m, respectivamente. Además, según las resistividades prácticamente no existen sales disueltas asegurando la calidad de esta.



**Figura 5.4. Correlación de Columnas Litológicas de SEV-CD-04-02-05.**

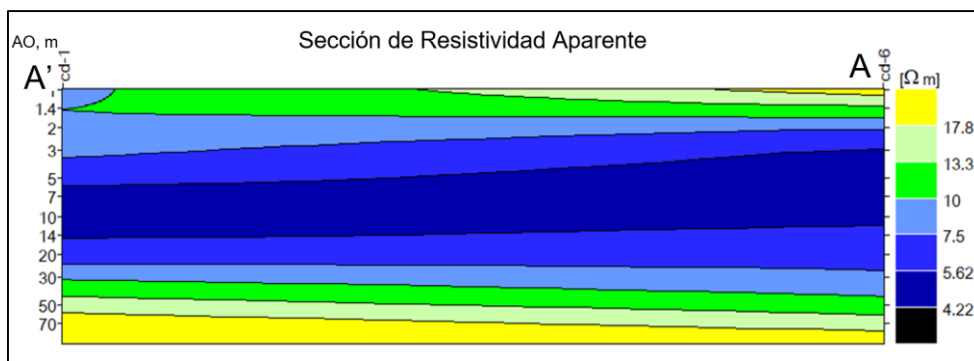
**Fuente: Elaboración propia.**

Se correlacionaron los sondeos SEV-CD-05, SEV-CD-02 y SEV-CD-04 (Figura 5.4 y sección B-B' en Figura 5.2) ya que se encuentran a una distancia considerable de la cuña salina en el subsuelo de la subcuenca del río Cadeate. Las columnas litológicas realizadas demostraron que estratos de mayor permeabilidad fueron los de gravas y arenas presentes a los 24.8 m para el SEV-CD-05, a los 24.9 m para el SEV-CD-02 y a los 2 m para el SEV-CD-04. Es por esto, que son considerados un buen lugar para encontrar agua subterránea de buena calidad a pesar de encontrarse una capa de arcillas con grado de salinidad sobreyaciendo a las capas de gravas y arenas, que no representa problemas debido a que la cantidad de sales disueltas decrece por efecto de recargas artificiales de agua y sigue considerándose agua apta para el consumo.

Es decir, los lugares aptos para la construcción de pozos en la comuna Cadeate se sitúan en las zonas de los sondeos CD-01, CD-06 y CD-01 que se los escogió por la ya

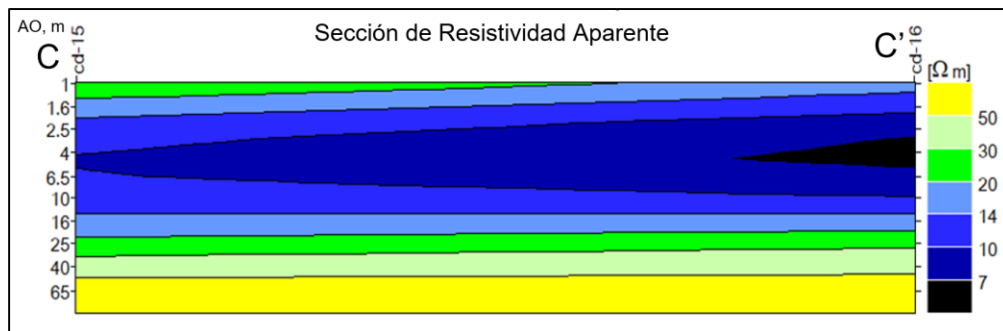
mencionada presencia de capas de alta permeabilidad permitiendo el almacenamiento y movilidad suficiente de agua para abastecer al pozo que se construirá. También se consideran zonas potenciales de agua subterránea entre los sondeos CD-04, CD-02, CD-05 en donde, a pesar de tener estratos con menor permeabilidad, también se califican como aptas para cumplir con las funciones del pozo a construir.

A continuación, se muestra las secciones de resistividad aparente obtenidas mediante el software IPI2WIN tanto de la zona más alejada de la cuña salina (ver Figura 5.5), así como de la zona más cercana a la cuña salina (ver Figura 5.6), respectivamente. Se verificó que, a mayor distancia del margen costero se espera encontrar agua de mejor calidad ya que no estaría muy afectado por la intrusión salina, lo cual se comprobó con la presencia de valores de resistividad más elevados en comparación con los encontrados en los sitios cercanos a la cuña como tal.



**Figura 5.5. Sección de resistividad aparente de los SEVs más alejados a la cuña salina en Cadeate.**

**Fuente: Elaboración propia. (Software IPI2WIN)**



**Figura 5.6. Sección de resistividad aparente de los SEVs más cercanos a la cuña salina en Cadeate.**

**Fuente: Elaboración propia. (Software IPI2WIN)**

## 5.2.2 Resultados de las Campañas de Geoelectrica en Libertador Bolívar

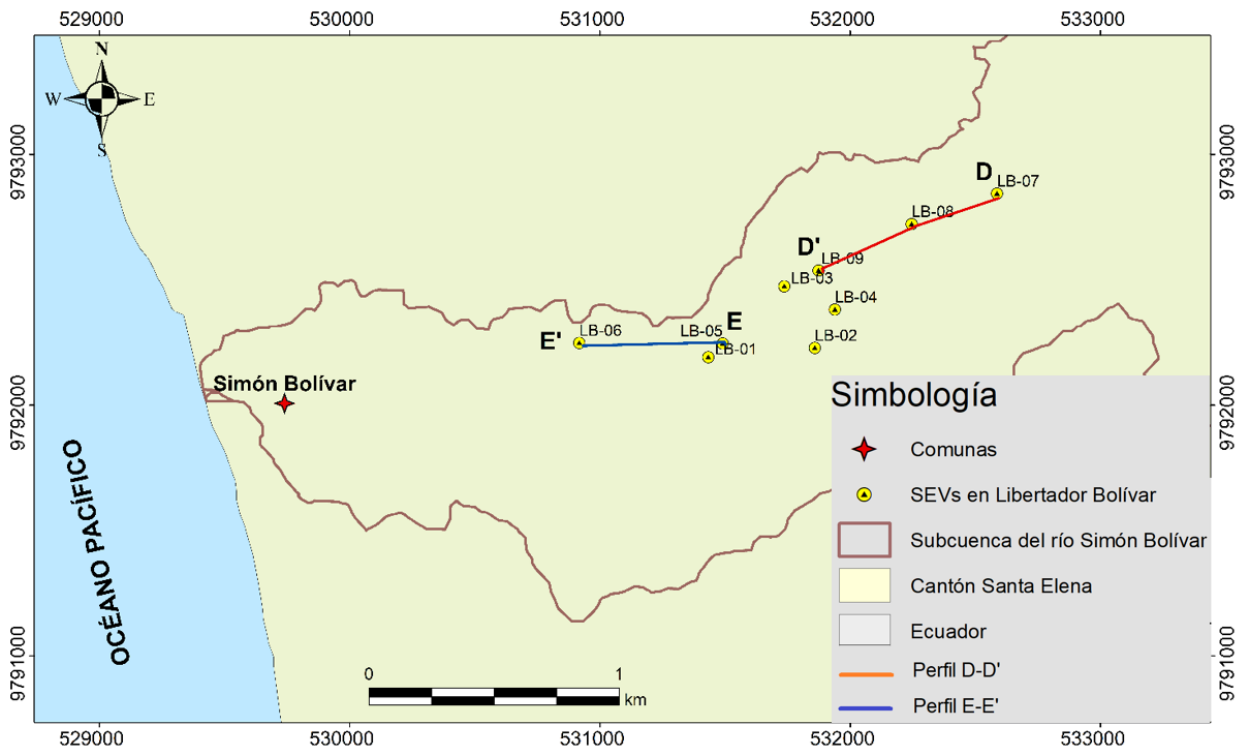


Figura 5.7. Ubicación de SEVs en Libertador Bolívar.

Fuente: Elaboración propia.

Se reinterpretó los 9 sondeos eléctricos verticales (ver sección 6, ANEXOS-C) realizados en la subcuenca del río Simón Bolívar de acuerdo con su ubicación (ver Figura 5.7) , de los cuales los sondeos SEV-LB-09, SEV-LB-08 y SEV-LB-07 (Perfil D-D') son los que poseen mayores probabilidades de encontrar agua subterránea de mejor calidad ya que se encuentran más alejados de la cuña salina. Además, presentan valores elevados de resistividad con respecto al resto de sondeos indicando la existencia de agua con pocas sales disueltas. Para el SEV-LB-07 que es el más alejado del margen costero se tiene un espesor de 6.05 m de capa acuífera que inicia a una profundidad de 17.1 m hasta los 23.2 m, en el SEV-LB-08 un espesor de 7.32 m que se extiende desde los 16.2 m hasta los 23.6 m de profundidad y, finalmente para el SEV-LB-09 se evidencia un espesor de 8.01 m que va desde los 16 m hasta los 24 m de profundidad.

En la Tabla 5.7 se representa los valores de resistividad de los sondeos SEV-LB-09, SEV-LB-08 y SEV-LB-07 respectivamente. Donde, para el primer sondeo se observa una capa de suelo húmedo desde la superficie hasta los 1.44 m de profundidad, seguida por una capa de grava y arena limoso hasta los 16 m, luego una capa de gravas y arenas hasta los 24 m y finalmente una capa de material consolidado hasta los 67 m de

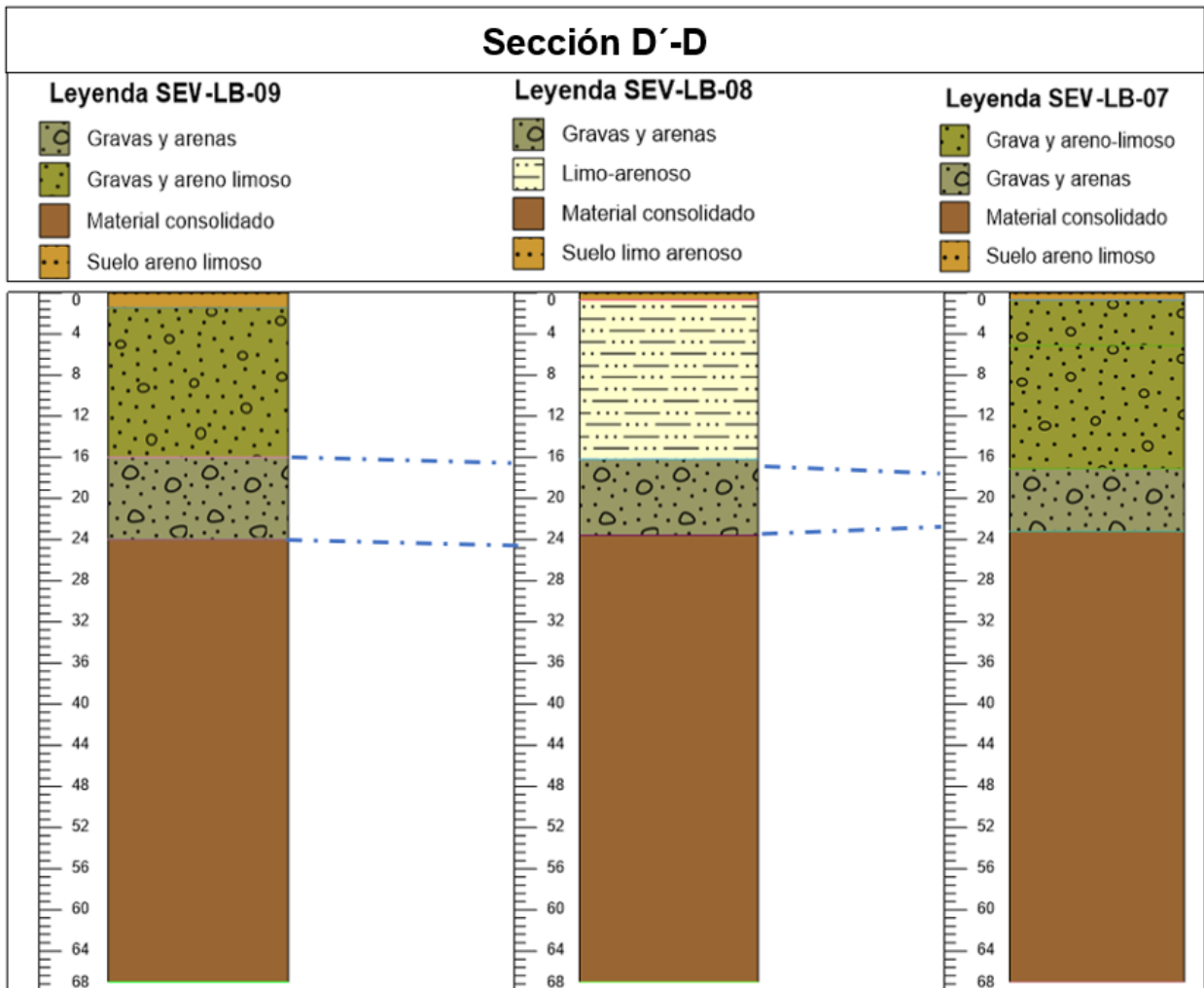
profundidad. El segundo sondeo parte suelo limo arenoso desde la superficie hasta los 0.691 m, a continuación, una capa de limo arenoso hasta los 16.2 m, luego se tiene una capa de gravas y arenas hasta los 23.6 m y, finalmente se tiene una capa de material consolidado hasta los 67m que es la profundidad máxima del sondeo.

Para el tercer sondeo, en la superficie se tiene una fina capa suelo areno limoso hasta los 0.719 m, seguida por dos capas de grava y areno limoso hasta los 17.1 m, le sigue un estrato de gravas y arenas hasta los 23.2 m y, para terminar un estrato hasta los 67m de profundidad con material consolidado.

Tabla 5.6. Correlación de datos de Resistividades, Profundidad y Litología de los Sondeos SEV-LB- 09, SEV-CD-08, SEV-CD-07; Libertador Bolívar.

Fuente: Elaboración propia.

Cadeate		LB-09			LB-08			LB-07		
Estratos		Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología	Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología	Prof. d (m)	Resist. ρ (Ω.m)	Litología
	1	1.44	45.5	Suelo húmedo	0.691	15.4	Suelo limo arenoso	0.719	29.8	Suelo areno limoso
	2	16	20.2	Grava y areno limoso (material semipermeable a permeable)	16.2	8.68	Limo-arenoso (material semipermeable)	5.12	18.1	Grava y areno limoso (material semipermeable a permeable)
	3	<b>24.0</b>	<b>50.8</b>	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>23.6</b>	<b>44.7</b>	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	17.1	21.2	Grava y areno limoso (material semipermeable a permeable)
	4	-	4305	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado	-	3046	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado	<b>23.2</b>	<b>50.8</b>	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>
	5							-	2646	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado



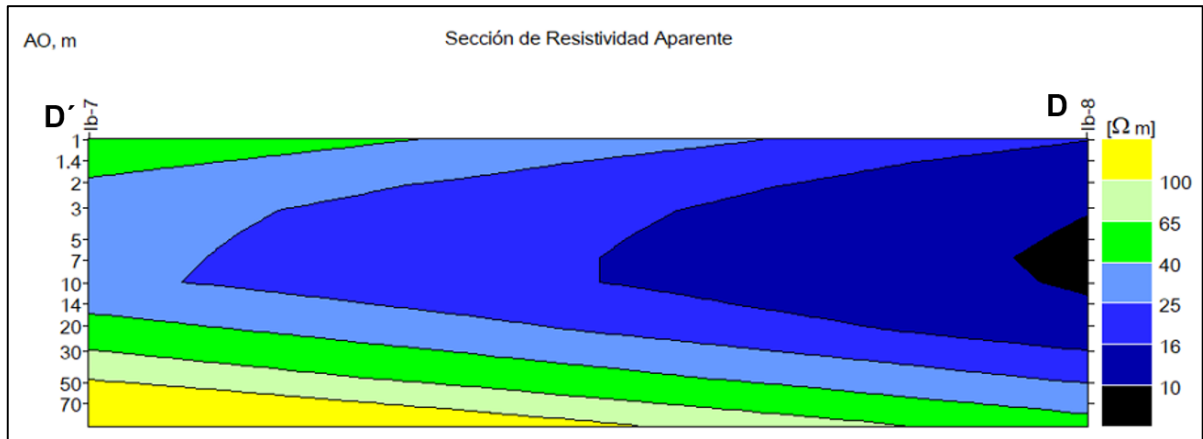
**Figura 5.8. Correlación de Columnas Litológicas de SEV-LB-09-08-07.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Para el caso de la comuna Libertador Bolívar se han correlacionado los sondeos más alejados de la cuña salina, SEV-LB-09, SEV-LB-08 y SEV-LB-07 (ver Figura 5.8) mediante columnas litológicas. Se han tomado en cuenta los estratos con las mejores condiciones de permeabilidad para almacenar agua subterránea a los estratos de gravas y arenas presentes a 24 m, 23.6 m y 23.2 m, respectivamente. Además, según los valores de las resistividades no hay sales disueltas asegurando la calidad del agua. Por lo tanto, el lugar idóneo para la construcción de un pozo se ubica entre los sondeos analizados debido a las capas de buena permeabilidad existente que permiten un adecuado almacenamiento de agua para abastecer el pozo a construir. A continuación, se muestra las secciones de resistividad aparente obtenidas a través el software IPI2WIN, se las realizó tanto en zona más alejada a la cuña salina (Figura 5.9), así como en la zona más próxima a misma (Figura 5.10). Se evidenció que, en los sondeos

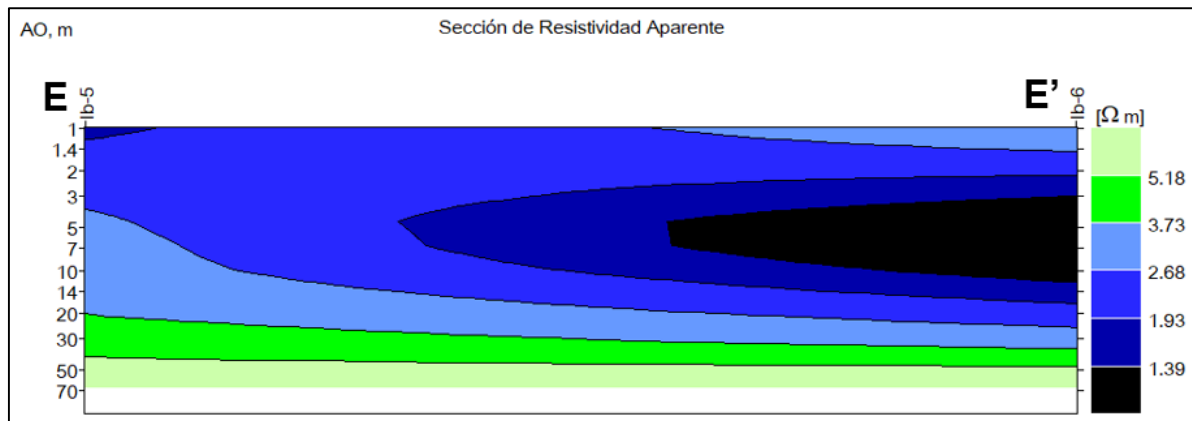


eléctricos verticales realizados a mayor distancia del margen costero se espera encontrar agua de mejor calidad ya que no estaría muy afectado por la intrusión salina. Esto se demostró con la presencia de valores de resistividad más elevados en comparación con los encontrados en los sitios cercanos a la cuña como tal.



**Figura 5.9. Sección de resistividad aparente de los SEVs más alejados a la cuña salina en Libertador Bolívar.**

**Fuente: Elaboración propia. (Software IPI2WIN)**



**Figura 5.10. Sección de resistividad aparente de los SEVs más cercanos a la cuña salina en Libertador Bolívar.**

**Fuente: Elaboración propia. (Software IPI2WIN)**

En las perfiles geoelectricos realizados tanto para Cadeate, como para Libertador Bolívar (ver Figura 5.11) se pudo comprobar lo analizados en las columnas litológicas y los perfiles de resistividad aparente, la calidad del agua en la zona se encuentra en mejores condiciones conforme se aleja de la cuña salina, los acuíferos se encuentran en potencias de varían de 6 a 11 m hasta una profundidad de aproximadamente 25 m.

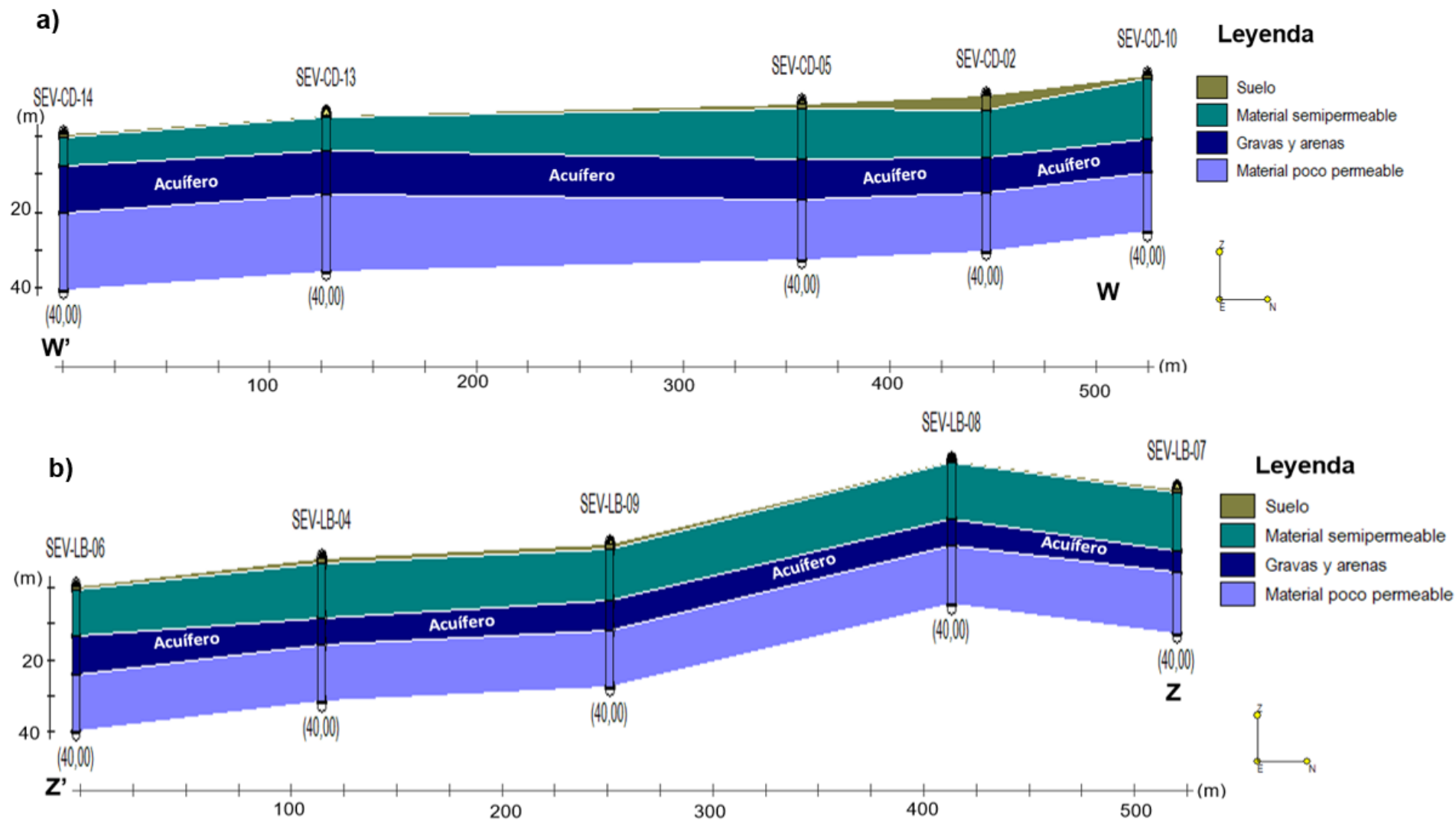
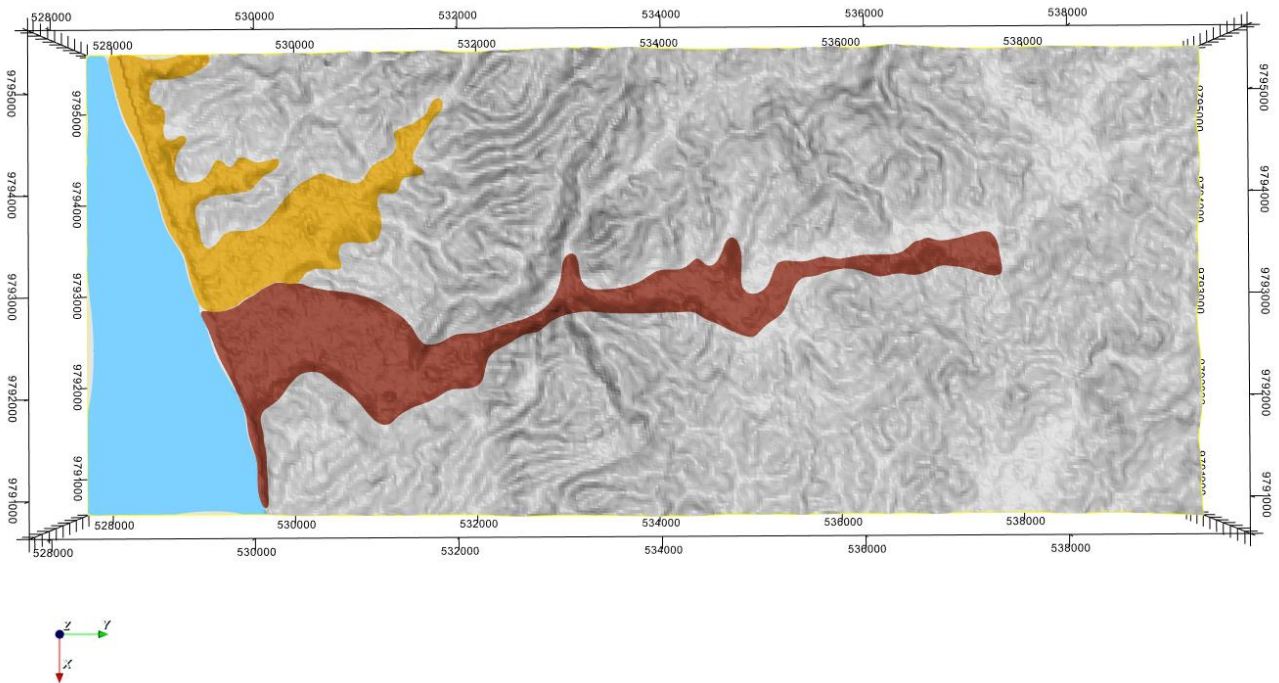


Figura 5.11. Perfiles Geoeléctricos. a) En Cadeate. b) En Libertador Bolívar.

Fuente: Elaboración propia. (Software RECMIN 2019)

### 5.2.3 Esquema Hidrogeológico de los Sistemas de Acuíferos

El esquema hidrogeológico 3D se obtuvo mediante una correlación previa de datos geológicos y geofísicos. Como resultado, se generó un esquema donde se muestra la relación entre las unidades hidrogeológicas que se definieron para la zona de estudio (ver Figura 5.12). En el sector afloran diferentes formaciones geológicas, pero para el alcance del presente proyecto se consideraron 3 unidades hidrogeológicas: la unidad 1 (color mostaza) representa el material aluvial que abarca el acuífero del río Cadeate; la unidad 2 (color café) comprende el material aluvial donde se ubica el acuífero del río Simón Bolívar y, finalmente, la unidad 3 (color gris) corresponde a los materiales poco permeables que rodean a las unidades 1 y 2 ya descritas (ver Figura 5.13).



**Figura 5.12. Vista en planta del esquema 3D de la zona de estudio donde se observan las unidades hidrogeológicas.**

**Fuente: Elaboración propia.**

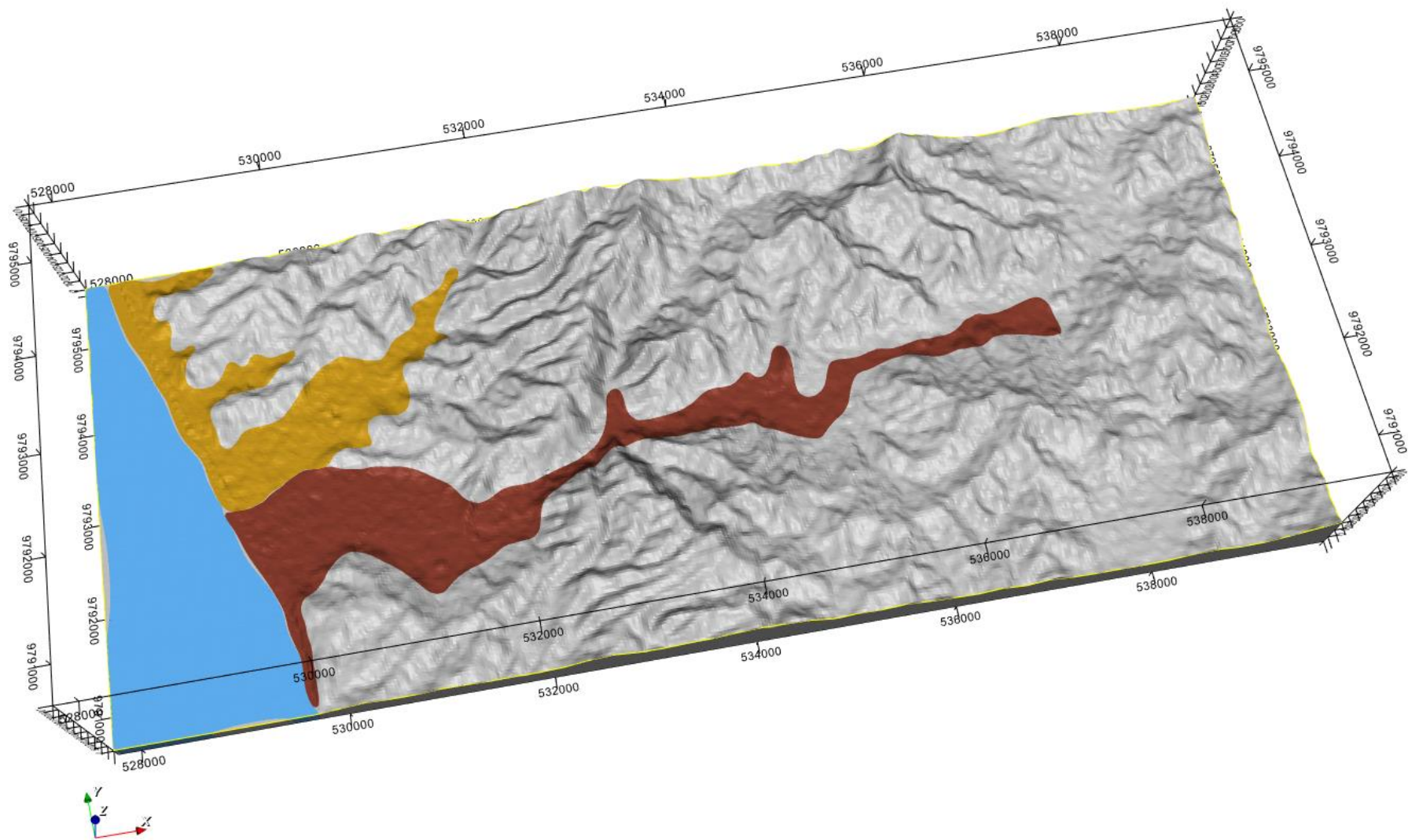
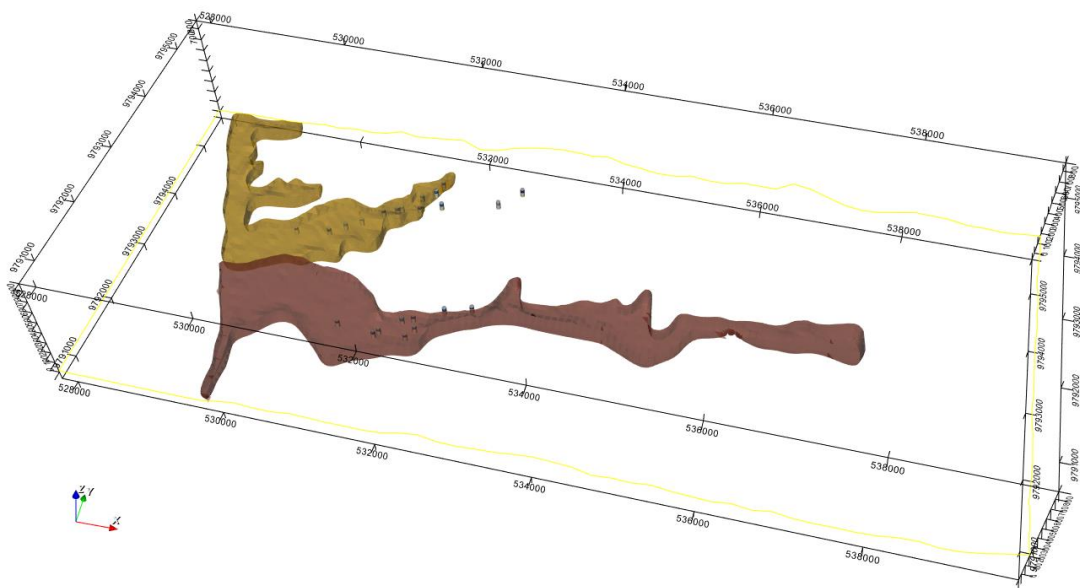


Figura 5.13. Vista O-E del Esquema Hidrogeológico 3D de la zona.

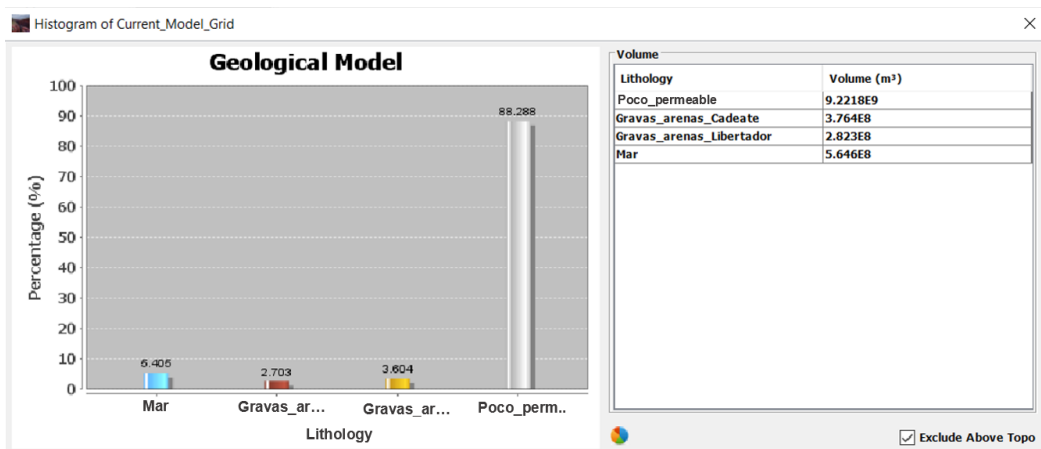
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.14 se observan los aluviales que abarca tanto el acuífero de Cadeate (color mostaza), así como también el acuífero de Libertador Bolívar (color café). Además, se muestran los sondeos eléctricos verticales realizados en cada acuífero. Se simplificó la litologías interpretadas a partir de los SEVs en 4 capas: suelo, material semipermeable, material permeable (gravas y arenas) y material poco permeable para así poder estimar la capacidad acuífera en cada caso. Posterior a la generación del esquema 3D de las unidades hidrogeológicas de la zona se visualizó el volumen de cada una de ellas desde el histograma del esquema (ver Figura 5.15).



**Figura 5.14. Esquema Hidrogeológico 3D de la zona con los SEVs realizados.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.15. Volumen neto de las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio.**

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura 5.16 y Figura 5.17 se muestran los histogramas de isópacas que indican el espesor neto total de las formaciones geológicas, en este caso, el espesor los depósitos aluviales tanto de Cadeate como de Libertador Bolívar viene dado por la media que es de 96.02 m y 117.43 m respectivamente. Ahora bien, para conocer únicamente el volumen de los acuíferos se realizó una aproximación a partir del volumen total conocido respecto al espesor medio de la capa acuífera que es de 9.03 m para Cadeate y de 7.83 m para Libertador Bolívar. Como resultado se obtuvo que el volumen de la capacidad acuífera en Cadeate es de  $7.1 \times 10^6 \text{ m}^3$  (ver ecuación 5.1) y de  $3.76 \times 10^6 \text{ m}^3$  en Libertador Bolívar (ver ecuación 5.2).

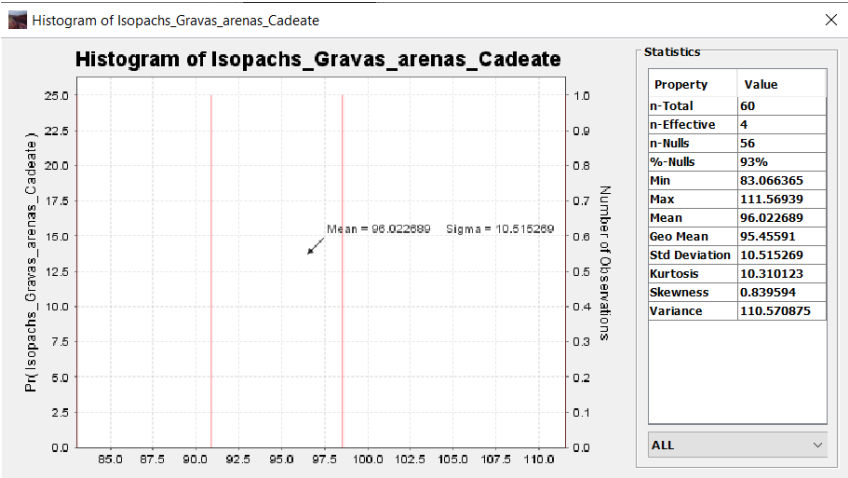


Figura 5.16. Espesor bruto de los aluviales de Cadeate.

Fuente: Elaboración propia.

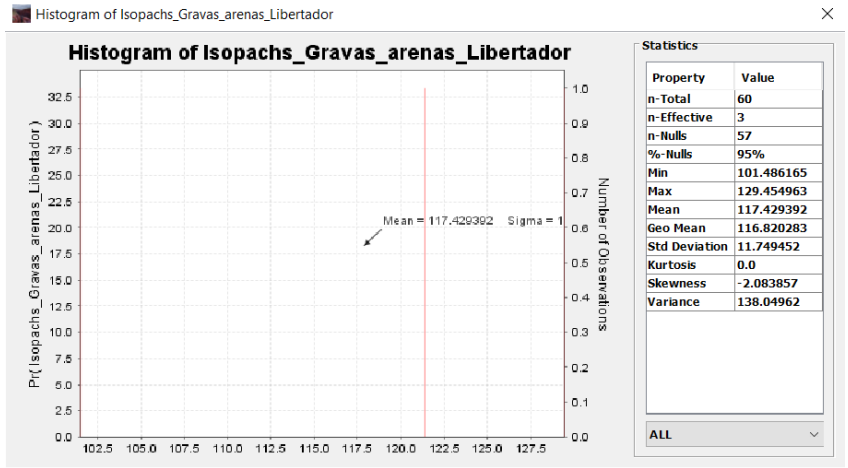


Figura 5.17. Espesor bruto de los aluviales de Libertador Bolívar.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido tanto el volumen total de cada aluvial (ver ecuación 5.1 y 5.2), así como su espesor neto total se procede a calcular el área a partir de estos datos, obteniendo



un área de  $3.92 \times 10^6 \text{m}^2$  para el caso de Cadeate y  $2.40 \times 10^6 \text{m}^2$  para Libertador Bolívar. Cabe mencionar que, para el cálculo de estos volúmenes se tomó en cuenta la porosidad ( $m$ ) del material permeable, en este caso de las gravas y arenas, cuyo valor es de 0.20, según estudios anteriores de (CIPAT-ESPOL, 2015).

#### **Cálculo de la capacidad acuífera en Cadeate:**

$$V_{acuifero\_Cadeate} = A_{superficial} * e_{promedio} * m \quad 5.1$$

$$V_{acuifero\_Cadeate} = (3.92 \times 10^6 \text{m}^2) * (9.03 \text{m}) * (0.2)$$

$$V_{acuifero\_Cadeate} = 7.1 \times 10^6 \text{m}^3$$

#### **Cálculo de la capacidad acuífera en Libertador Bolívar:**

$$V_{acuifero\_Libertador} = A_{superficial} * e_{promedio} * m \quad 5.2$$

$$V_{acuifero\_Cadeate} = (2.40 \times 10^6 \text{m}^2) * (7.83 \text{m}) * (0.2)$$

$$V_{acuifero\_Cadeate} = 3.76 \times 10^6 \text{m}^3$$

### **5.3 Propuesta de Siembra y Cosecha de Agua (SyCA) para los sistemas hidrográficos**

La creciente demanda de agua ha ocasionado un aumento en los niveles de salinidad del agua de los pozos, evidenciándose la intrusión salina en la zona, dicho proceso puede ser tratado de dos formas, ya sea incrementando los niveles de los acuíferos mediante técnicas de recarga artificial de agua como las albarradas y tapes, o a su vez disminuyendo la extracción de los pozos, ésta última no es muy viable ya que generaría pérdidas económicas por el desabastecimiento del recuso debido el apogeo turístico evidente en Manglaralto, sumándose a esto el crecimiento poblacional que incluye la visita de turistas, en especial los primeros meses del año.

En consecuencia, se ha optado por la construcción de 5 tapes hasta la actualidad, como técnica de rescate del conocimiento ancestral que ayude a solucionar los problemas de déficit de agua. La no controlada construcción de tapes podría ser contraproducente si no se consideran ciertos aspectos técnicos y de prevención como los que se detallan en la Tabla 5.7. ya que, cuando hay crecidas en los ríos se modifica el entorno a causa de la erosión de los límites de los ríos y los tapes podrían quedar obstruidos por el material arrastrado quedando obsoletos.

**Tabla 5.7. Criterios de campo para selección de zonas a construir tapes/diques.**

**Fuente: Adaptado de (Arenas, 2012)**

<b>Criterios de campo en puntos de interés</b>	<b>Recomendaciones</b>
<p>Cauce del río material aluvial para favorecer la infiltración.</p> <p>Morfología del cauce que favorezca el represamiento, (taludes y terrazas en los flancos).</p> <p>Zonas amplias que permitan un buen represamiento de agua y favorezca la recarga del acuífero.</p> <p>En zonas cerradas se puede tener un buen encauzamiento de río y se optimiza recursos de construcción</p>	<p>Topografía a detalle de cada tramo del río a represar para determinar el área, el volumen a captar, dimensionar los diques.</p> <p>Construir diques de suelos empleando materiales de la zona en estado natural.</p> <p>Realizar constante mantenimiento de los tapes/diques.</p> <p>Cuidar el material del río ya que su remoción daña y disminuye la capacidad de acumulación e infiltración para el acuífero.</p>

El río Manglaralto se ubica sobre depósitos aluviales recientes compuestos de materiales con condiciones favorables de porosidad y permeabilidad, como lo son las gravas y arenas, que permiten la acumulación de aguas subterráneas. La porosidad del acuífero de Manglaralto varía en el rango de (20-30) %, la permeabilidad entre (1,59–5,15) m/día, cuyo valor indica que es un acuífero con una buena capacidad de drenaje según la clasificación de (Custodio & Llamas, 1983), la transmisividad entre 30-128 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento se conserva en un valor de 0,002 (Fajardo I & Campoverde J, 2018)(CIPAT-ESPOL, 2015). Se presentan 3 unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Manglaralto: La unidad semiconfinante, la unidad acuífera y la confinante, como se observa en la Tabla 5.8.

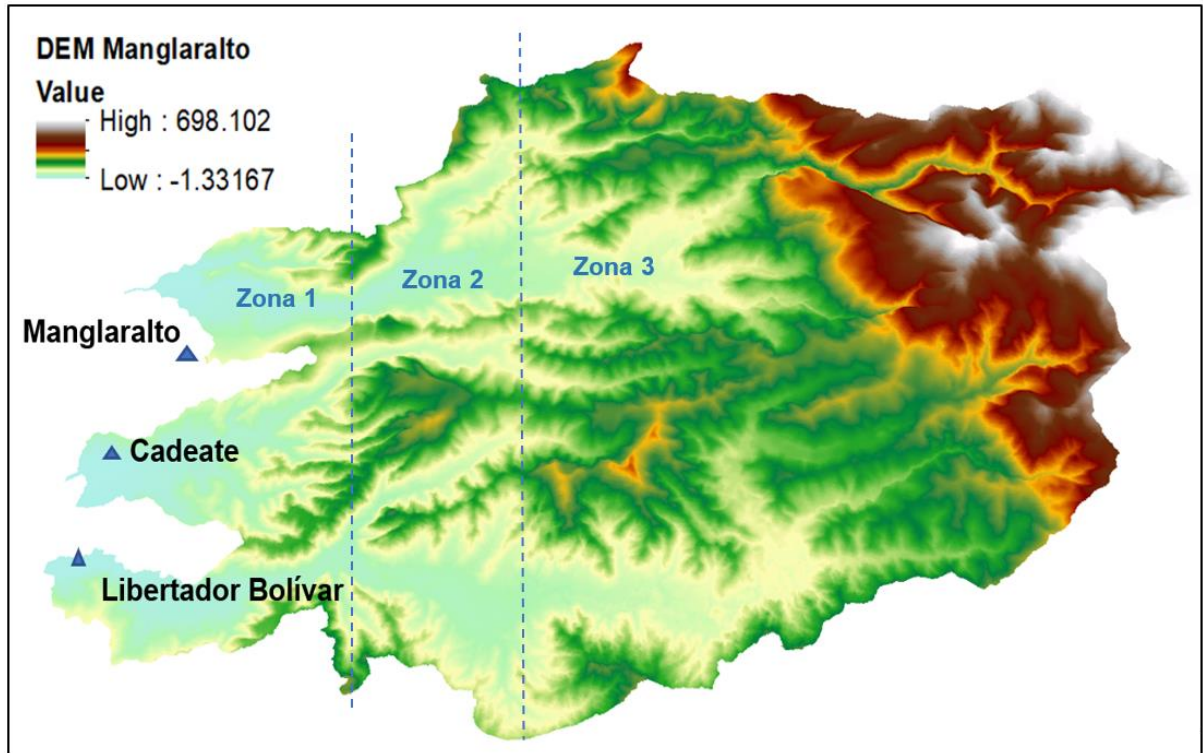
**Tabla 5.8. Características de las Unidades Hidrogeológicas en la cuenca del río Manglaralto.**

**Fuente: Adaptado de (Carrión et al., 2020)**

<b>Unidades hidrogeológicas</b>	<b>Litoestratigrafía</b>	<b>Particularidades</b>
Semiconfinante	Limos arenosos, arcillas, arenas y gravas	-Acuitardo -Diferentes valores de permeabilidad -Libre o semiconfinante
Acuífera	Grava, gravilla	-Acuífero superior -Permeable
De base confinante	Arcilla limosa	-Acuicludo - Permeable



El área de trabajo de la presente investigación fue dividida en 3 zonas, como se observa en la Figura 5.18, las cuales se deben a los distintos espesores de las unidades hidrogeológicas en el acuífero del río Manglaralto (Fajardo I & Campoverde J, 2018).



**Figura 5.18. Zonas de análisis acorde a los espesores de las unidades hidrogeológicas del sector.**

**Fuente: Adaptado de (Fajardo I & Campoverde J, 2018)**

En la Tabla 5.9 se resumen las características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas tomadas en cuenta para la división de las 3 zonas de análisis que comprende la cuenca hidrográfica del río Manglaralto que abarca las 3 subcuencas que incluye la zona de estudio. Además, se analizó las pendientes de la zona, como se observa en la Figura 5.19.

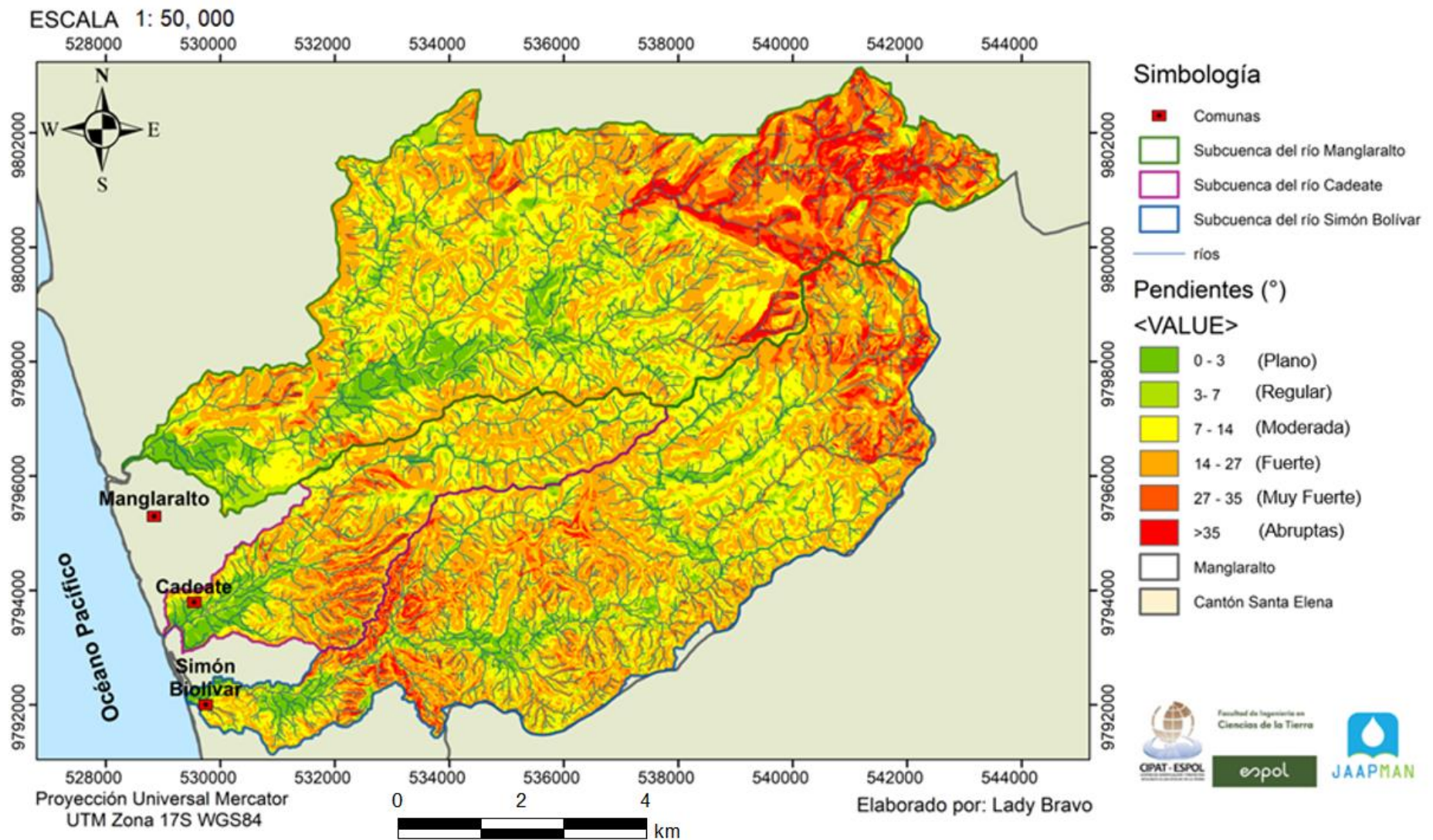


Figura 5.19. Mapa de Pendientes de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.9. Características Geológicas-Geomorfológicas-Hidrogeológicas de la zona de estudio.**

**Fuente: Adaptado de (Carrión et al., 2020)(Fajardo I & Campoverde J, 2018)**

Zona	Geomorfología y Geología	Hidrología e Hidrogeología	Recarga
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pendientes planas a moderadas.</li> <li>-Constituida superficialmente por gravas, arenas y conglomerados brechosos pertenecientes a los depósitos aluviales y Fm. Tablazo, en una matriz limo-arcillosa que suprayace a la Fm. Tosagua.</li> <li>-Depósitos aluviales de elevada potencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Unidad semiconfinante espesor: (6 a 22 m)</li> <li>-Unidad acuífera espesor (14 a 30 m)</li> </ul>	Precipitación promedio anual de 164 mm/año
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pendientes regulares a fuertes, predominando las regulares (3°-7°) en un 60%.</li> <li>-Predominan rocas de la Fm. Socorro y Fm. Seca, que presenta en su tope limolitas y lutitas, con intercalaciones de areniscas y arcillas.</li> <li>-Depósitos aluviales de mediana potencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Unidad semiconfinante espesor: (6 a 12 m)</li> <li>-Unidad acuífera espesor: (3 a 18 m)</li> </ul>	Precipitación promedio anual de 200 mm/año
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pendientes fuertes (~14°) a muy fuertes (&gt;35°), predominando en un 15% las pendientes abruptas (&gt; 35°).</li> <li>-Rocas de la Fm. Cayo afloran en la parte más alta del aluvial, conformada por limolitas y areniscas gruesas, tobas, lutitas, hialoclastitas, calizas y brechas volcánicas que son sedimentos resistentes a la erosión.</li> <li>-Depósitos aluviales de poca potencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Unidad semiconfinante de ~2m de espesor</li> <li>-Unidad acuífera espesor: (3 a 18 m)</li> </ul>	Precipitación promedio anual de 274 mm/año

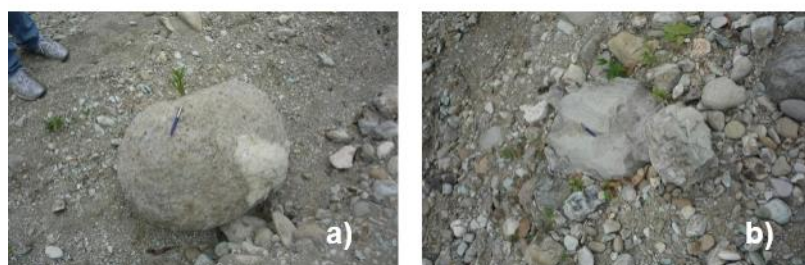
En base a los criterios analizados previamente en la Tabla 5.7, Tabla 5.8 y Tabla 5.9 se ha seleccionado siete lugares donde se podría construir unos nuevos tapes, como se observa en la Tabla 5.10 y se los visualiza de mejor manera en la Figura 5.22. Además, en la Figura 5.20, se observa uno de los lugares donde se propone construir un tape, que cumple con las características deseadas para una buena acumulación de agua, afloran cantos procedentes de la cabecera del río, con litologías muy variadas y el cauce presenta una anchura de unos 18 a 20 m. A pesar de que la zona 1 es la más favorable ya que presenta el mayor espesor de la unidad acuífera (14-30) m también se ha considerado la zona 2 y zona 3 para que contribuyan a la recarga del acuífero.



**Tabla 5.10. Ubicación de Nuevos Tapes.**

**Fuente: Elaboración propia.**

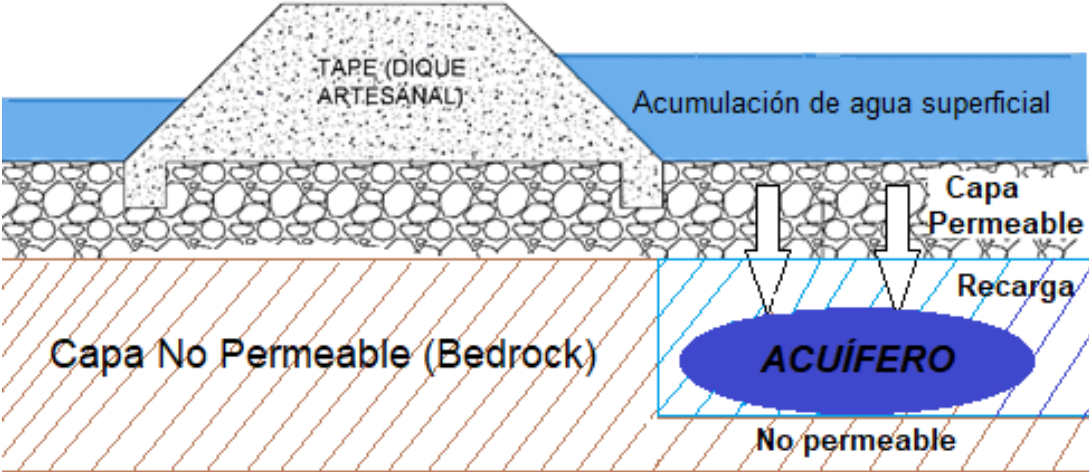
Nuevos tapes	X	Y	Zona	Características
Tape 6 Tape 7 Tape 8	530495 531127 532064	9796528 9794486 9792537	1	-Zona de pendientes planas a moderadas. -Unidad acuífera de mayor espesor. -Predominan materiales muy permeables como gravas y arenas.
Tape 9 Tape 10 Tape 11	533195 532676 533619	9797928 9796165 9793105	2	-Zona de pendientes regulares a fuertes -Ayudaría al mantenimiento de los tapes de la zona 1.
Tape 12	535658	9798484	3	-Zona de pendientes fuertes a muy fuertes -El tape ayudaría a reducir la velocidad del flujo de agua y reducir daños en los tapes de la zona 1. -Actuaría como una reserva de agua adicional.



**Figura 5.20. Ubicación de tape 8 (Zona 3) a construir en la zona de estudio. En a) y b) se observan detalles de los cantos transportados por el río y del material aluvial de la zona.**

**Fuente: Adaptado de (Arenas, 2012)**

En la Figura 5.21 se esquematiza el proceso de la siembra y cosecha de agua que se basa en un origen ancestral (tapes/diques), que genere condiciones de recarga artificial de acuíferos en tiempo de lluvias, para aprovecharlos en los tiempos de estiajes gracias a la presencia de materiales porosos y permeables en el subsuelo y de esta forma realizar una explotación sostenible de las aguas subterráneas.



**Figura 5.21. Esquema de Siembra y Cosecha de Agua (SyCA).**  
**Fuente: Adaptado de (Herrera, Carrión, et al., 2020)**

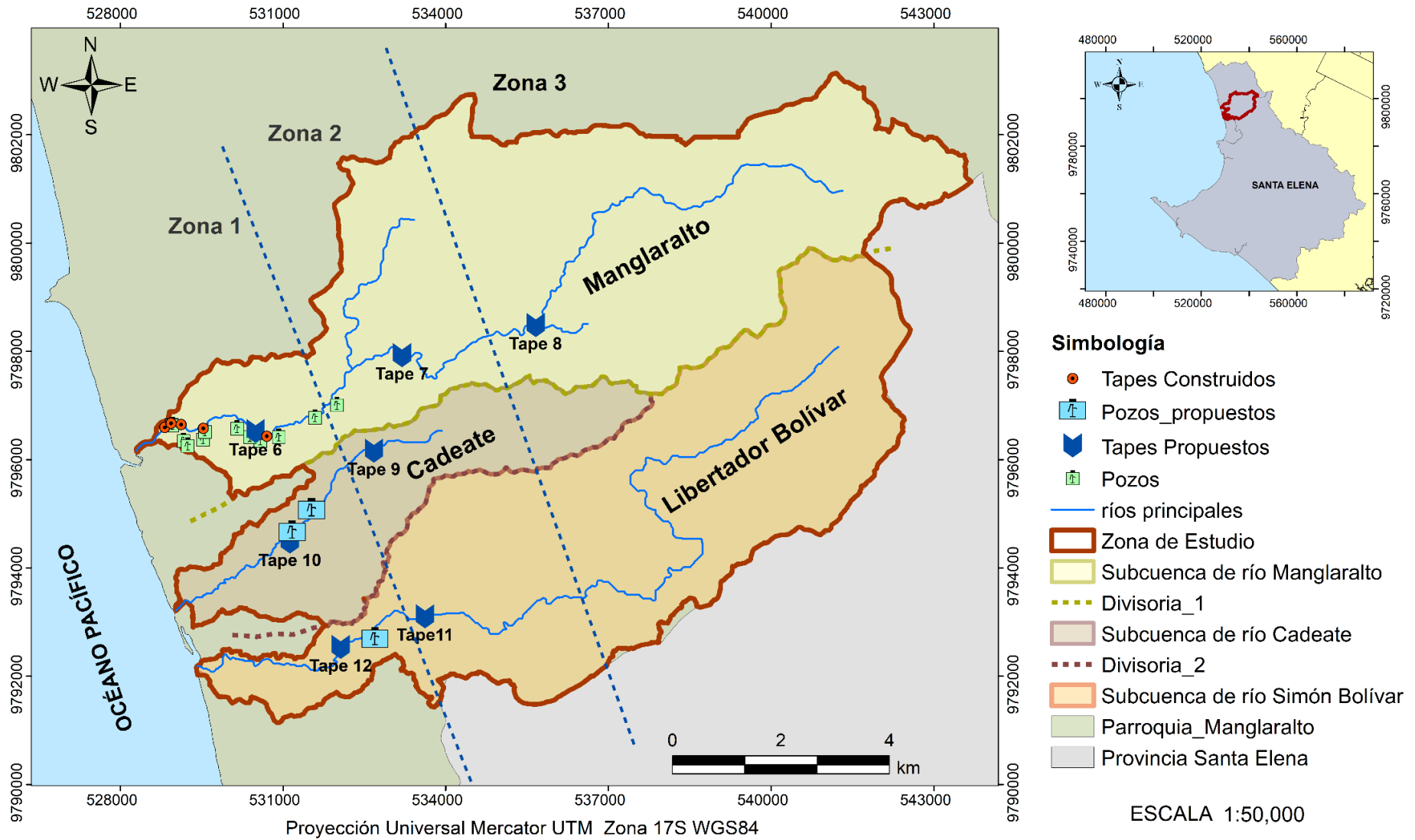


Figura 5.22. Propuesta de SyCA de la zona de Estudio.

Fuente: Propia

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se ha configurado una propuesta de gestión integral de los acuíferos que administra la JAAPMAN, considerando el uso conjunto de agua superficial y subterránea, basados en el rescate del conocimiento ancestral existentes en la cultura popular, es decir, mediante la construcción de tapes/diques que son estructuras que propician la recarga artificial del acuífero, ya que la acumulación de agua genera permite que esté un mayor tiempo en el cauce del río favoreciendo la infiltración. Esta estrategia es la que actualmente permite dar abastecimiento de agua a las seis comunidades locales (Montañita, Manglaralto, Cadeate, San Antonio, Río Chico y Libertador Bolívar) a través de extracción de agua de los pozos, logrando la sostenibilidad del acuífero a costos muy económicos, con gran impacto social, que se logra al tener agua para consumo humano y para los negocios ligados al turismo de sol y playa.
- Se delimitaron las subcuencas administradas por la JAAPMAN que pertenecen a los ríos principales de la zona, es decir, las subcuencas de los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar, con un área de 51.7 km<sup>2</sup>, 15.1 km<sup>2</sup> y 42.45 km<sup>2</sup> respectivamente. Se evidenció que la comuna Libertador Bolívar es un lugar prometedor para iniciar una extracción de aguas subterráneas, por su mayor área y una morfología del terreno que permitiría una buena captación del agua superficial y a su vez la contribución a la recarga del acuífero costero de Manglaralto. El orden de drenaje determinado guarda relación con la extensión de sus ríos principales, por tanto, en Manglaralto se llegó al orden 6, mientras que, en Cadeate y Libertador Bolívar al orden 5.
- Se estableció un esquema hidrogeológico que permitió definir los límites y la geometría de las unidades acuíferas (permeables) de las subcuencas de los ríos Cadete y Simón Bolívar que están constituidas principalmente por gravas y arenas y como basamento o lecho rocoso fracturado a los estratos arcillosos de la

Formación Zapotal y las lutitas de la Formación Socorro perteneciente al Grupo Ancón ya que presentan una alta resistividad y muy baja permeabilidad de acuerdo con las interpretaciones de los 25 sondeos eléctricos verticales realizados en la zona. Además, según la clasificación dada por el IGME el acuífero del río Simón Bolívar es considerado como costero-libre-poroso. Mientras que, al acuífero de la subcuenca del río Cadeate se lo ha clasificado como costero-semiconfinado-poroso. Además, con la aplicación del software GeoModeller se pudo estimar los volúmenes de los acuíferos, tanto de Cadeate con  $7.1 \times 10^6 \text{m}^3$  y de Libertador Bolívar con  $3.76 \times 10^6 \text{m}^3$ , lo cual demuestra que es posible favorecer a la recarga del acuífero principal del territorio de la JAAPMAN mediante la construcción de nuevos pozos. En este sentido, se propuso dos lugares para la construcción de dos pozos de agua en Cadeate y uno para Libertador Bolívar tomando en cuenta los resultados de la interpretación de los SEVs, es decir, se seleccionó para ambos casos las zonas más alejadas de la cuña salina, con presencia de capas permeables y de mejor calidad de agua subterránea.

- Se diseñó una propuesta de siembra y cosecha de agua que se basó en la aplicación de técnicas de recarga artificial de recolección de agua, como son los tapes/diques que rescatan el conocimiento ancestral que ha sido empleado principalmente por las comunidades desde épocas prehispánicas. Se seleccionó siete lugares para la construcción de nuevos tapes, tomando en cuenta las comunidades de Cadeate y Libertador Bolívar donde aún no se han construido tapes/diques, estos sitios se distribuyeron en tres zonas, donde la morfología del cauce, la geomorfología del lugar y la presencia de materiales rocosos del subsuelo con las condiciones adecuadas de porosidad y permeabilidad, como es el caso de las gravas y arenas que se tienen en la zona de estudio permitan una gran acumulación de agua superficial. Además, al ser una zona fallada, aumenta la permeabilidad del suelo ya que, por los caminos de estas fracturas y fallas, el agua llega a mayor profundidad, incrementando la cantidad de agua subterránea que aporta a la recarga de los acuíferos. De esta forma se puso en evidencia que es posible cumplir con la demanda de agua del sector con una correcta gestión del recurso y de esta forma controlar la sobreexplotación del acuífero costero de



Manglaralto ya que también se extraería agua de los acuíferos de Cadeate y Libertador Bolívar.

### **Recomendaciones**

- Realizar un levantamiento topográfico a detalle a lo largo del cauce de los ríos principales de las subcuencas de Cadeate y Libertador Bolívar para una mejor selección de las zonas donde se construirán nuevos tapes/diques y pozos de agua.
- Completar campañas geoeléctricas que incluyan sondeos eléctricos verticales y tomografías eléctricas principalmente en las subcuencas del río Cadeate y Simón Bolívar para la complementación de los estudios previos en la zona.
- Ejecutar campañas de educación ambiental y socialización de la temática del agua, para generar conciencia en el uso del recurso y propiciar el uso del sistema de siembra y cosecha de agua en otras comunidades del Ecuador.
- Continuar con las mediciones periódicas de los parámetros físico-químicos y los niveles estáticos y dinámicos de los pozos de agua para de esta forma monitorear la calidad del agua y la funcionalidad de los pozos.
- Conservar una buena relación entre la directiva de la JAAPMAN y los comuneros para así garantizar el trabajo participativo y eficiente de la junta de agua del sector.
- Controlar que no exista intervención antropogénica en zonas de materiales geológicos que favorezcan la infiltración puesto que son de gran interés para la conservación del flujo de agua subterránea.

# BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, S., Bazuco, M., Burmester, M., González, C., & Escobar, P. (2004). Tomo I Comunas y comunidades con Sistemas de Albarradas. Descripciones Etnográficas. (Ediciones). Quito.
- Amado, J. C. (1990). Estudio Hidrogeológico De La Cuenca Baja Del Río Manglaralto. 57. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3419/1/5942.pdf>
- Aranda, D. F. C. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis Potosí.
- Arenas, L. (2012). Observaciones de Campo en la Península de Santa Elena, Comuna Manglaralto.
- Arco, E. N. del. (2003). Geología del ecuador. Retrieved from <http://slidepdf.com/reader/full/libro-geologia-del-ecuador-por-ing-nunez-del-arco>
- Arévalo, M. (2017): Propuesta de diseño de construcción, acondicionamiento de un pozo de agua y su incidencia en la vulnerabilidad del acuífero costero en Manglaralto. ESPOL.
- Argumedo, A. (2017). Informe Técnico. Estudio Hidrogeológico para Explotación de Aguas Subterráneas Vereda Santa Marta - Municipio de Coyaima-Tolima. Retrieved from <http://www.edat.gov.co/wp-content/uploads/2019/06/INFORME-ESTUDIO-HIDROGEOLOGICO-VEREDA-SANTA-MARTA.pdf>.
- Auge, M. (2008). Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea. Retrieved from <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/indexm.html>
- Bellino, N. (2012). Aguas Subterráneas Conocimiento y Explotación. Retrieved from <http://www.fi.uba.ar/archivos/aguasubterraneeas-2012.pdf>
- Benítez, S. (1995). Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire. Geologie Alpine, 71, 3-163.

- Borbor, A., & Vera, J. (2014). Estudio para la Optimización de la Distribución de Agua para Consumo Humano, por parte de la Junta Regional de Manglaralto, Santa Elena, Ecuador. ESPOL.
- Castro, M., Herrera, G., Mateos, L., Diego, J., Manizales, S., & Elena, S. (2020). La Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica; un sistema ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza. 1–15.
- Carrión, P., Morante, F., Varas, M., Herrera, G., Briones, J., Malavé, J., Fajardo, I., & John Campoverde. (2020). GEOLOGÍA APLICADA AL DISEÑO DE DIQUES ARTESANALES (TAPES) Y SU INCIDENCIA EN LA RECARGA DEL ACUÍFERO COSTERO DE MANGLARALTO, SANTA ELENA, ECUADOR. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy”, 29-31, (In Press).
- Carrión, P., Herrera, G., Briones, J., Sánchez, C., & Limón, J. (2018). Practical adaptations of ancestral knowledge for groundwater artificial recharge management of Manglaralto coastal aquifer, Ecuador. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 217, 375–386. <https://doi.org/10.2495/SDP180341>
- Carrión, P., Morante, F., Toalombo, M., Berrezueta, J. B., & Daniela Mora. (2020). Exploración de aguas subterráneas para un plan de abastecimiento sostenible en una comunidad rural: Caso Cadeate, Santa Elena, Ecuador. 18 Th LACCEI (In Press).
- Carrión, P., Herrera, G., Cordero, G., Erazo, K., Zambrano, K., & Limón, J. (2017). Recarga Artificial de Acuíferos, Experiencia de Origen Ancestral. XII Congreso Internacional Sobre Patrimonio Geológico y Minero.
- CIPAT-ESPOL. (2015). Estudios Emergentes de Prospección Geoeléctrica para Determinar Sitios de Interés para la Construcción de Pozos de Agua para las Juntas Regionales de Valdivia y Manglaralto.

- CIPAT-ESPOL, & SENAGUA. (2014). Proyecto Mapa Hidrogeológico a escala 1:250.000, Informe inédito. Retrieved from file:///C:/Users/Wimdowns/10/Downloads/4\_MAPA HIDROGEOLOGICO ESPOL.pdf
- Cobos, L. (2010). Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del Mioceno al Reciente. ESPOL.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). Hidrología Subterránea (OMEGA, S.A). Barcelona.
- Davidson, N. C. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, Vol. 65, No. 10, págs. 934–941. doi.org/10.1071/MF14173.
- Deniaud, Y., Baby, P., Basile, C., Ordoñez, M., Montenegro, G., & Mascle, G. (1999). Ouverture et évolution tectono-sédimentaire du golfe de Guayaquil: Bassin d'avant-arc néogène et quaternaire du Sud des Andes équatoriennes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science.*, 181-187. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(99\)80094-9](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(99)80094-9).
- DDGM. (1974). Hoja Geológica Manglaralto. Escala 1:100.000.
- Diop, S., & Rekacewicz, P. (2003). Atlas mondial de l'eau. Une pénurie annoncée (Editions A). París.
- Domínguez, I., Torres, W., Restrepo, I., Paterson, C., & Gowing, J. (2016). Self-supply as an alternative approach to water access in rural scattered regions. Evidence from a rural microcatchment in Colombia. In: Pontificia Universidad Javeriana (Ed.), *Ingeniería y Universidad*, 175–195).
- Fajardo I, & Campoverde J. (2018). "CONTRIBUCIÓN DE LA GEOLOGÍA APLICADA PARA LA MEJORA EN EL DISEÑO DE UN DIQUE EN LA SUBCUENCA DEL RIO MANGLARALTO, PROVINCIA DE SANTA ELENA." ESPOL.
- Herrera, G., Bravo, L., Carrión, P., Morante, F., & Apolo, B. (2020). COMMUNITY MANAGEMENT OF THE OLON COASTAL AQUIFER AND ITS IMPACT ON THE SUPPLY OF WATER SUITABLE FOR HUMAN CONSUMPTION. (In Press).

Herrera, G., Carrión, P., & Briones, J. (2020). Aplicación del conocimiento ancestral mediante albarradas y tapes en la gestión del agua en la provincia de Santa Elena, Ecuador. (In Press).

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Manglaralto (GADM). (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Manglaralto 2014-2019. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0968538230001\\_Actualización PDYOT 2014-2019 Parroquia Manglaralto\\_26-10-2015\\_06-41-43.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0968538230001_Actualización PDYOT 2014-2019 Parroquia Manglaralto_26-10-2015_06-41-43.pdf)

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

IEE., I. E. E. (2012). "Proyecto de Generación de Información a Escala 1:25.000 a nivel Nacional" para el cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena. Ecuador.

INAHMI. (2015). Anuario Meteorológico No 52-2012. <https://doi.org/http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>

INAMHI. (2014). Anuario Meteorológico Nro. 51-2011. Retrieved from <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am 2011.pdf>

INAMHI. (2017). Anuario Meteorológico No 53-2013. Retrieved from [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)

Instituto Andaluz de Geofísica – Universidad de Granada, I.-U. (2013). Prospección Eléctrica en Corriente Continua. In Prospección Eléctrica en Corriente Continua (pp. 11–23).

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). In: D. d. Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) (Ed.), VII Censo de Población y VI de Vivienda. Sistema Integrado de Consultas. Retrieved from <http://redatam.inec.gob.ec/>.

- Jaillard, E., Lapierre, H., Ordóñez, M., Toro, J., Amórtegui, A., & Vanmelle, J. (2009). Accreted oceanic terranes in Ecuador: southern edge of the Caribbean Plate? Geological Society, London, Special Publications., 328, 469–485. <https://doi.org/doi:10.1144/SP328.19>.
- Kalenov, E. (1987). Interpretación de Curvas de Sondeos Eléctricos Verticales. Madrid.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill., I. (2002). An Introduction to Geophysical Exploration (Tercera Ed; Blackwell Sciencie Ltd., Ed.). <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.031>
- López, J., & Juan Gómez. (2007). La intrusión marina y su incidencia en los acuíferos españoles. Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra, 15(3), 266–273.
- MAGAP. (2002). Proyecto MAG-IIICA-CLIRSEN, Cartografía Base, Cuencas, 1:250.000.
- Maderey, L., & Jiménez, A. (2005). Principios de la Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico (U. N. A. de México, Ed.). México.
- Martínez, A, (2017). El derecho al agua en el Ecuador. Un análisis desde la Ciencia Política y el Derecho Público.
- Mook, W., & Custodio, E. (2002). Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico. Principio y aplicaciones. Madrid.
- Morell, I., & Hernández, F. (2000). El agua en Castellón: Un reto para el siglo XXI.
- Navarro, Oscar E. Representación social del agua y de sus usos. Psicología desde el Caribe, núm. 14, diciembre, 2004, pp. 222-236. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
- Ordoñez, M., Jiménez, N., Suárez, J. (2006). Micropaleontología Ecuatoriana. Datos Bioestratigráficos y Paleoecológicos de las Cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del Levantamiento de la PSE, y de las Cordilleras Chongón Colonche, Costera y Occidental. <https://es.scribd.com/document/441305919/Micropaleontologia-Ecuatoriana-Dra-Ordenez-Suarez-Jimenez-pdf>

- Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. In: C.E. Caribe-CEPAL (Ed.), Serie recursos naturales e infraestructura (Vol. 178, p. 57).
- Plata, C. del. (2020). Fundación Cordón del Plata. Retrieved from Experiencias de Siembra y Cosecha de Agua en los Andes website: <http://cordondelplata.org/experiencias-de-siembra-y-cosecha-de-agua-una-mirada-desde-la-practica/?fbclid=IwAR1Xtx1uPIVSgRaXIK2r7JA7T57h1wRYYIX1at--ZvYMDtUqGejsCoRJcUU%0A>
- Quiñonez, X. (2019). Modelo geométrico del acuífero costero de Manglaralto y su incidencia en el aprovechamiento sostenible del agua, Santa Elena-Ecuador. ESPOL.
- Quinteros, V. (2013). Propuesta De Gestión Del Recurso Agua mediante la utilización de Conocimientos Ancestrales en la Parroquia Manglaralto.
- Sánchez Román, F. J. (1997). Apuntes: Ciclo Hidrológico (pp. 1–76). <http://web.usal.es/javisan/hidro>
- Sánchez, L., & Basán, M. (2013). El Agua. In Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., and Zahoor, M. 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, Vol. 130, págs. 1–13. doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007.
- Shiel, C., Leal Filho, W., do Paço, A., & Brandli, L. (2016). Evaluating the engagement of universities in capacity building for sustainable development in local communities. In: J. Morell, et al. (Eds.), *Evaluation and Program Planning*, 54, 123–134. doi: 10.1016/j.evalprogplan.2015.07.006. (PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA)
- SNI. (2019). Sistema Nacional de Información. [www.sni.gob.ec](http://www.sni.gob.ec).
- Sprenger, C., Hartog, N., Hernández, M., Vilanova, E., Grützmacher, G., Scheibler, F., & Hannappel, S. (2017). La Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica; un sistema

ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza. *Hydrogeology Journal*, 25(6), 1909–1922. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1554-8>

Toalombo, M. (2016). Exploración de aguas subterráneas en Cadeate para el abastecimiento de la Comunidad. ESPOL.

UNEP 2016. A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. 162pp.

UNESCO, 2015. Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua para la promoción de la investigación científica, el intercambio de conocimientos y enfoques tecnológicos y normativos eficaces a fin de mejorar la calidad del agua.

Valencia, J. (2017). "Análisis Hidrogeológico de la Cuenca del Río Manglaralto para la Caracterización de sus Sistemas Acuíferos" [ESPOL]. <http://bazica.org/facultad-de-ingenieria-en-ciencias-de-la-tierra.html?page=4>

Villanueva, M., & Iglesias, A. (1984). Pozos y Acuíferos. Técnicas de Evaluación mediante Ensayos de Bombeo (p. 435). <http://books.google.pt/books?id=FBifPQAACAAJ>

WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) /ONU-Agua. 2018. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.

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

WWAP. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. NO DEJAR A NADIE ATRÁS. Francia.



# ANEXOS

## ANEXOS-A: Planillas de Campañas de Sondeos Eléctricos Verticales

Tabla 6.1. SEVs realizados en la Comuna Manglaralto en el periodo julio-diciembre del 2019.

Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE DEL SONDAJE:			MA-42	MA-43	MA-44	MA-45	MA-46	MA-47	
Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistividad					
Punto	AB/2	MN/2	K	(ohm.m)					
1	1	0.2	7.54	18.61	15.34	26.41	26.83	28.02	21.26
2	1.47	0.2	16.66	23.81	18.66	25.76	29.16	24.5	24.21
3	2.15	0.2	35.99	24.77	19.86	24.98	32.65	23.24	23.36
4	3.16	0.2	78.11	24.44	19.95	20.52	30.17	17.37	21.65
5	4.64	0.2	168.78	21.03	19.4	16.41	20.65	13.3	18.09
6	4.64	0.5	66.85	17.15	16.48	12.71	17.21	12.34	18.57
7	6.81	0.2	363.92	15.83	17.84	10.9	14.61	8.3	11.94
8	6.81	0.5	144.91	12.76	14.95	8.36	12.94	7.95	12.05
9	10	0.5	313.37	11.57	12.32	7.08	10.86	5.78	8.41
10	14.7	0.5	678.08	11.31	11.3	7.36	9.54	6.56	6.18
11	14.7	2	166.58	10.03	10.88	6.09	10.4	6.05	5.78
12	21.5	0.5	1451.42	10.39	12.2	7.29	10	5.86	6.3
13	21.5	2.0	359.91	9.22	11.44	5.87	10.41	5.73	5.63
14	31.6	2.0	781.13	8.95	11.18	7.08	13.7	5.41	5.46
15	46.4	2.0	1687.79	8.54	9.77	9.43	10.07	3.12	4.2
16	46.4	5.0	668.52	7.73	10.18	5.56	10.71	4.43	4.4
17	68.1	2.0	3639.24	8.63	11.89	15.07	8.21	1.86	5.44

Punto	AB/2	MN/2	K	MA-42	MA-43	MA-44	MA-45	MA-46	MA-47
18	68.1	5.0	1449.1	6.63	9.48	7.98	7.52	3.67	4.1
19	100	5.0	3133.75	15.32	7.32	24.35	7.08	3.51	2.85
20	100	10	1555.09	10.12	6.86	15.59	7.22	4.07	3.54
21	147	5	6780.83	22.65	4.59	20	-	-	2.5
22	147	10	3378.63	8.97	4.76	27.1	-	-	2.22
23	215	10	6780.83	11.11	15.17	-	-	-	-
24	215	20	3378.63	7.24	10.05	-	-	-	-

**Tabla 6.2. SEVs realizados en la Comuna Cadeate.**

Fuente: Adaptado de (CIPAT-ESPOL, 2015) (Toalombo, 2016)

NOMBRE DEL SONDAJE:			CD-1	CD-2	CD-3	CD-4	CD-5	CD-6	CD-7	CD-8	
Estación	Abertura		Constante	Resistividad							
Punto	AB/2	MN/2	K	(ohm-m)							
1	1	0.2	7.54	15.97	10.06	20.21	26.15	34.17	66.59	13.79	14.05
2	1.47	0.2	16.66	17.28	11.37	15.72	24.29	22.69	37.15	14.90	11.76
3	2.15	0.2	35.99	16.77	10.41	12.74	18.30	18.22	22.78	16.62	10.77
4	3.16	0.2	78.11	15.73	7.99	11.07	14.68	15.30	17.73	16.14	9.67
5	4.64	0.2	168.78	13.97	6.07	9.79	14.01	11.40	15.56	16.82	9.97
6	4.64	0.5	66.85	19.91	9.17	12.14	10.34	9.77	14.10	13.56	7.09
7	6.81	0.2	363.92	12.19	4.52	10.42	243.00	9.77	16.54	17.20	11.11
8	6.81	0.5	144.91	17.19	7.30	10.99	8.24	8.52	12.67	13.79	6.96
9	10	0.5	313.37	13.40	7.08	9.66	7.81	4.84	11.03	13.48	6.76
10	14.7	0.5	678.08	10.21	8.01	12.02	8.01	2.97	9.64	13.39	6.42
11	14.7	2.0	166.58	10.46	7.41	9.30	8.68	4.70	10.23	15.98	6.46

Punto	AB/2	MN/2	K	CD-1	CD-2	CD-3	CD-4	CD-5	CD-6	CD-7	CD-8
12	21.5	0.5	1451.42	5.92	11.38	23.32	10.77	2.48	18.05	13.85	8.11
13	21.5	2.0	359.91	7.49	8.54	12.31	8.32	5.02	9.80	15.39	6.55
14	31.6	2.0	781.13	5.08	9.03	15.28	10.77	14.40	19.87	13.98	6.92
15	46.4	2.0	1687.79	5.29	9.91	25.83	31.36	37.35	18.13	13.87	3.79
16	46.4	5.0	668.52	6.48	9.06	15.13	17.68	14.88	11.69	12.37	5.99
17	68.1	2.0	3639.24	14.71	40.31	34.31	17.22	31.58	19.04	15.99	9.53
18	68.1	5.0	1449.1	8.21	17.88	20.11	9.52	14.65	11.42	11.73	6.80
19	100	5.0	3133.75	48.10	9.88	20.80	5.22	155.19	33.00	15.01	7.42
20	100	10.0	1555.09	30.12	10.12	17.70	1.17	76.38	19.40	11.44	7.35

**Tabla 6.3. SEVs realizados en la Comuna Cadeate.**

**Fuente: Adaptado de (CIPAT-ESPOL, 2015) (Toalombo, 2016)**

NOMBRE DEL SONDAJE:			CD-9	CD-10	CD-11	CD-12	CD-13	CD-14	CD-15	CD-16	
Estación	Abertura		Constante	Resistividad							
Punto	AB/2	MN/2	K	(ohm-m)							
1	1	0.2	7.54	86.510	75.300	63.47	54.86	59.90	101.93	45.96	74.08
2	1.47	0.2	16.66	53.3900	51.7100	35.22	42.69	31.64	55.08	27.61	55.07
3	2.15	0.2	35.99	39.4300	42.7800	31.43	37.91	22.77	30.03	19.60	82.80
4	3.16	0.2	78.11	19.3400	32.4800	24.52	35.04	15.22	21.01	15.73	23.29
5	4.64	0.2	168.78	16.3300	26.3700	24.38	34.83	15.56	20.00	17.76	9.56
6	4.64	0.5	66.85	12.9400	19.0200	17.43	28.36	11.16	13.10	13.14	8.23
7	6.81	0.2	363.92	17.5300	24.6300	26.17	47.52	21.23	19.36	27.85	16.07
8	6.81	0.5	144.91	11.5700	15.9300	15.46	31.50	20.73	9.35	15.57	8.94
9	10	0.5	313.37	18.5100	16.7800	17.72	52.86	22.27	21.66	31.56	17.26

Punto	AB/2	MN/2	K	CD-9	CD-10	CD-11	CD-12	CD-13	CD-14	CD-15	CD-16
10	14.7	0.5	678.08	29.5000	14.0500	23.34	72.55	25.31	16.23	59.70	47.08
11	14.7	2	166.58	12.5700	9.8200	12.67	39.27	11.06	9.68	13.38	35.08
12	21.5	0.5	1451.42	65.0800	11.2600	25.77	78.52	59.16	9.76	44.76	48.72
13	21.5	2.0	359.91	19.4100	9.0700	13.63	33.98	18.27	14.85	19.63	31.90
14	31.6	2.0	781.13	15.0000	6.7700	39.90	96.93	44.02	16.28	22.48	26.74
15	46.4	2.0	1687.79	34.7700	37.2200	62.79	204.32	69.93	49.70	87.23	79.77
16	46.4	5.0	668.52	9.0700	23.4900	101.75	112.61	36.53	40.19	50.79	67.20
17	68.1	2.0	3639.24	32.1900	71.6600	91.07	470.63	244.32	92.61	136.29	47.85
18	68.1	5.0	1449.1	34.68	80.44	26.16	86.74	98.56	66.47	53.91	63.70
19	100	5.0	3133.75	86.96	70.44	92.09	833.95	272.29	97.79	331.14	141.46
20	100	10	1555.09	45.32	21.01	150.19	339.67	163.30	125.60	184.86	79.62

**Tabla 6.4. SEVs en Comuna Libertador Bolívar.**

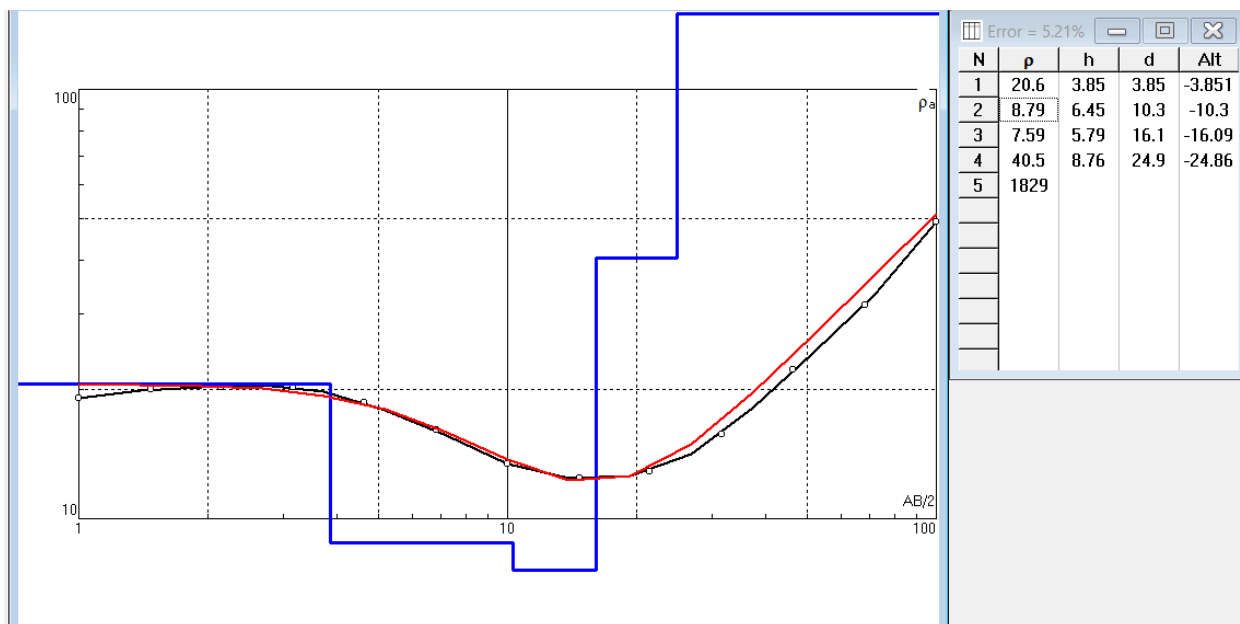
**Fuente: (Toalombo, 2016)**

NOMBRE DEL SONDAJE:			LB-01	LB-02	LB-03	LB-04	LB-05	LB-06	LB-07	LB-08	LB-09	
Estación	Abertura		Constante	Resistividad								
Punto	AB/2	MN/2	K	(ohm-m)								
1	1	0.2	7.54	5.84	16.26	18.50	4.45	6.00	34326.00	62.75	29.26	25.69
2	1.47	0.2	16.66	4.87	15.96	17.94	10.18	6.67	25823.00	46.98	23.75	18.46
3	2.15	0.2	35.99	3.60	12.15	16.81	11.11	7.80	17670.00	43.83	21.09	15.02
4	3.16	0.2	78.11	2.49	8.28	13.90	11.90	10.03	11721.00	30.99	21.20	10.62
5	4.64	0.2	168.78	2.19	5.23	11.56	11.77	8.48	9.41	35.70	18.45	6.05
6	4.64	0.5	66.85	4.63	7.18	17.19	5.61	7.12	6.43	31.85	16.70	8.95

<b>Punto</b>	<b>AB/2</b>	<b>MN/2</b>	<b>K</b>	<b>LB-01</b>	<b>LB-02</b>	<b>LB-03</b>	<b>LB-04</b>	<b>LB-05</b>	<b>LB-06</b>	<b>LB-07</b>	<b>LB-08</b>	<b>LB-09</b>
7	6.81	0.2	363.92	2.79	2.29	10.14	17.84	7.02	5.85	18.79	13.56	4.45
8	6.81	0.5	144.91	4.45	4.54	13.88	9.48	5.57	4.37	16.97	13.86	7.80
9	10	0.5	313.37	4.83	3.40	13.10	11.62	4.91	1.96	14.11	10.96	6.47
10	14.7	0.5	678.08	4.61	3.23	10.60	10.01	4.72	10.64	26.17	11.05	8.50
11	14.7	2	166.58	5.18	3.25	9.37	2.66	5.43	0.69	5.52	16.88	4.69
12	21.5	0.5	1451.42	7.00	4.57	6.20	5.34	6.91	13181.00	90.32	22.25	38.96
13	21.5	2	359.91	5.00	3.09	7.77	2.99	5.03	5.95	60.00	17.03	6.04
14	31.6	2	781.13	6.09	4.02	6.59	25.15	4.07	3.72	10.98	19.22	5.47
15	46.4	2	1687.79	4.99	6.94	5.30	35.38	5.57	4.88	88.66	53.18	83.04
16	46.4	5	668.52	5.00	5.73	5.08	6.39	5.42	5.03	103.25	11.50	87.90
17	68.1	2	3639.24	5.89	-	-	13.11	5.42	31094.00	181.26	110.25	78.72
18	68.1	5	1449.1	4.38	-	-	24.33	21947.00	14012.00	124.28	87.89	59.00
19	100	5	3133.75	5.99	-	-	20.89	-	49493.00	343.30	32.09	276.46
20	100	10	1555.09	4.99	-	-	11.70	-	26054.00	139.62	17.90	252.42

## ANEXOS-B: Interpretación de Sondeos Eléctricos

### Verticales en Cadeate



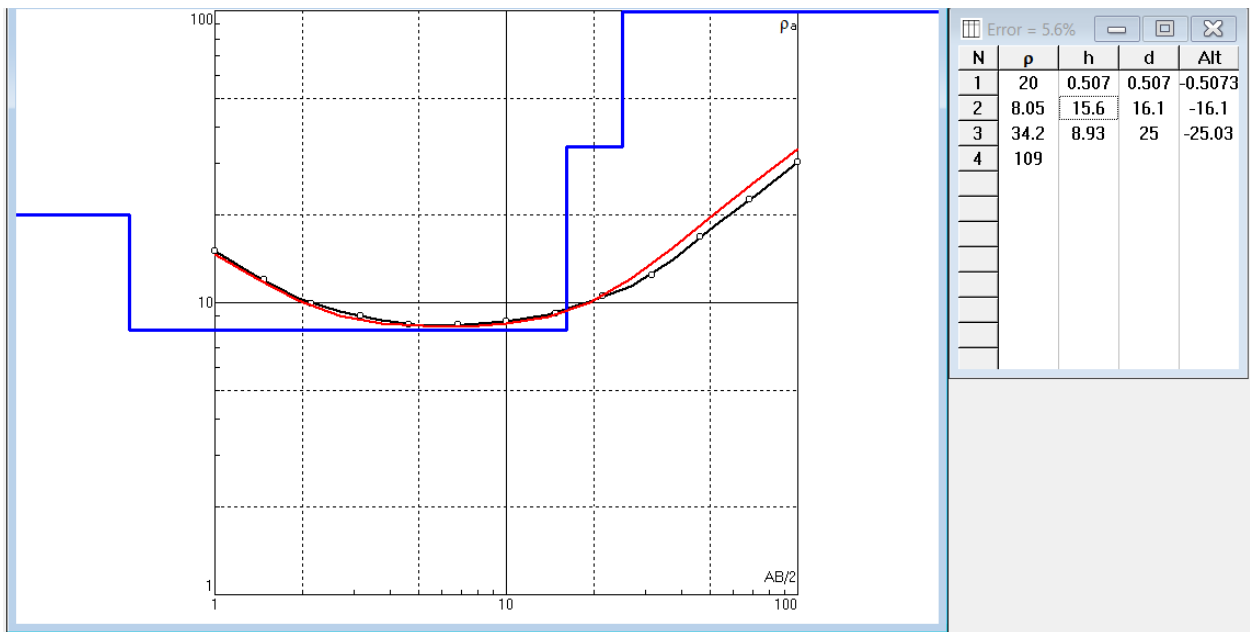
**Figura 6.1. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-02.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.5. Capas de resistividad del SEV-CD-02.**

Fuente: Elaboración propia

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Grava y areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	3.85	3.85	20.6
2	Limo-arenoso (material semipermeable)	6.45	10.3	8.79
3	Limo-arenoso (material semipermeable)	5.79	16.1	7.59
4	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>8.76</b>	<b>24.9</b>	<b>40.5</b>
5	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	1829



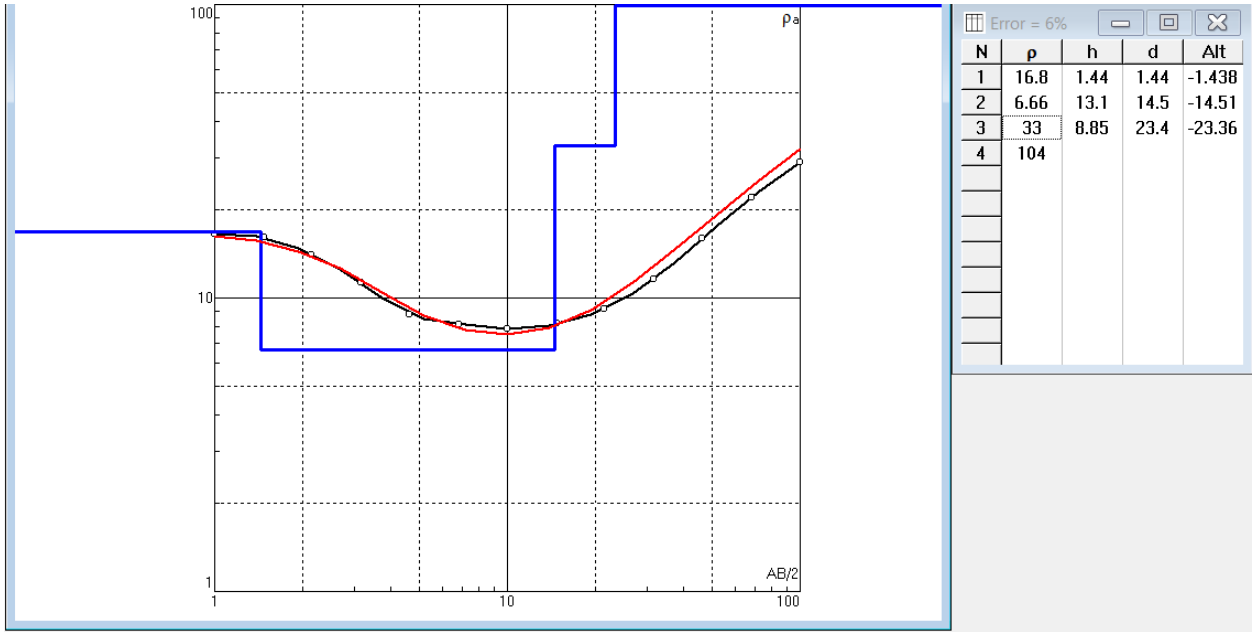
**Figura 6.2. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-03.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.6. Capas de resistividad del SEV-CD-03.**

Fuente: Elaboración propia

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	0.507	0.507	20
2	Limo-arenoso (material semipermeable)	15.6	16.1	8.05
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>8.93</b>	<b>25</b>	<b>34.2</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	109



**Figura 6.3. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-04.**

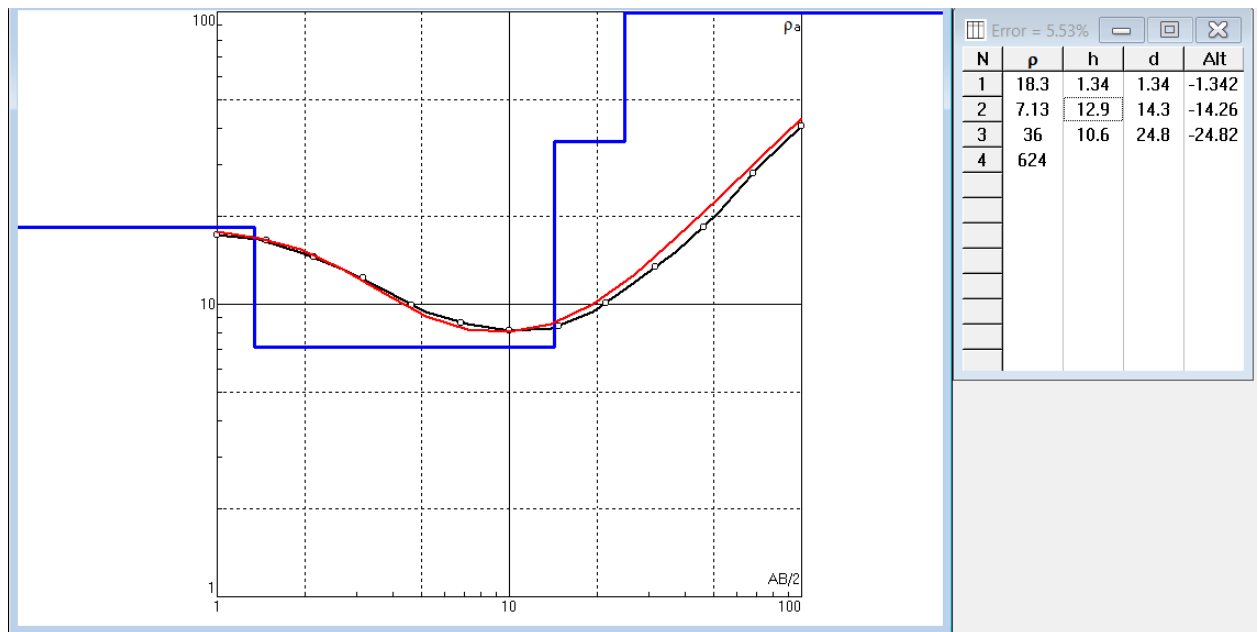
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.7. Capas de resistividad del SEV-CD-04.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Esesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	1.44	1.44	16.8
2	Limo arenoso (Material semipermeable)	13.1	14.5	6.66
3	<b>Gravas y arenas (Material muy permeable)</b>	<b>8.85</b>	<b>23.4</b>	<b>33</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)	-	-	104





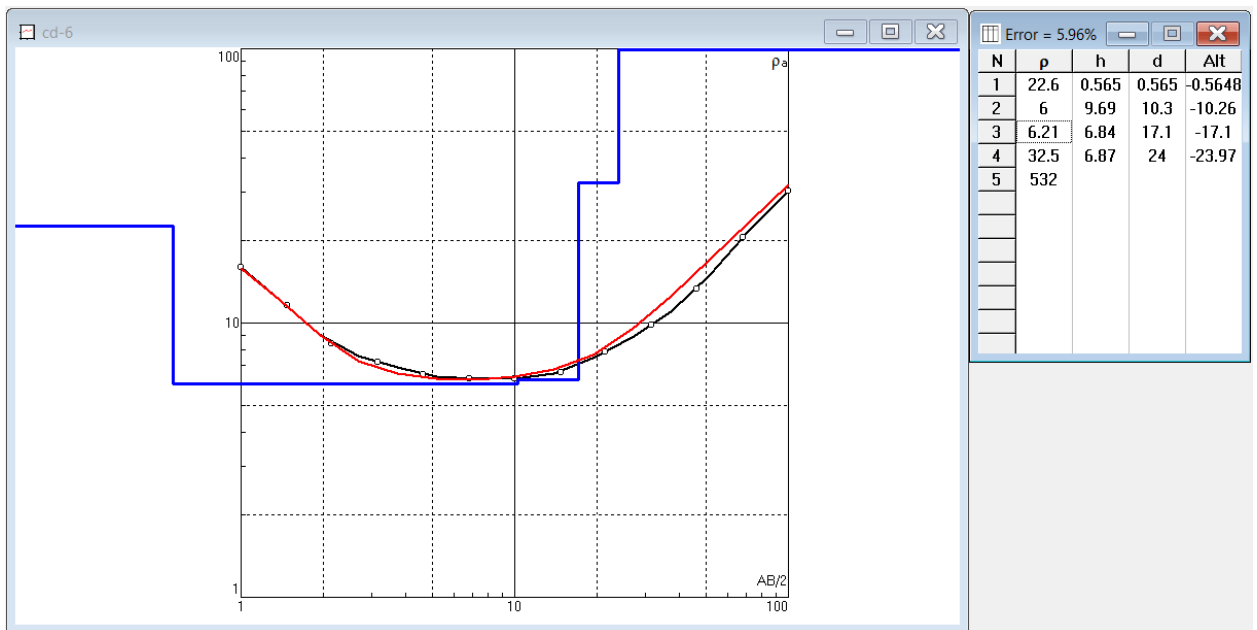
**Figura 6.4. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-05.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.8. Capas de resistividad del SEV-CD-05.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Grava y areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	1.34	1.34	18.3
2	Limo arenoso (Material semipermeable)	12.6	14.3	7.13
3	<b>Gravas y arenas</b> <b>(Material permeable)</b>	<b>10.6</b>	<b>24.8</b>	<b>36</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	624



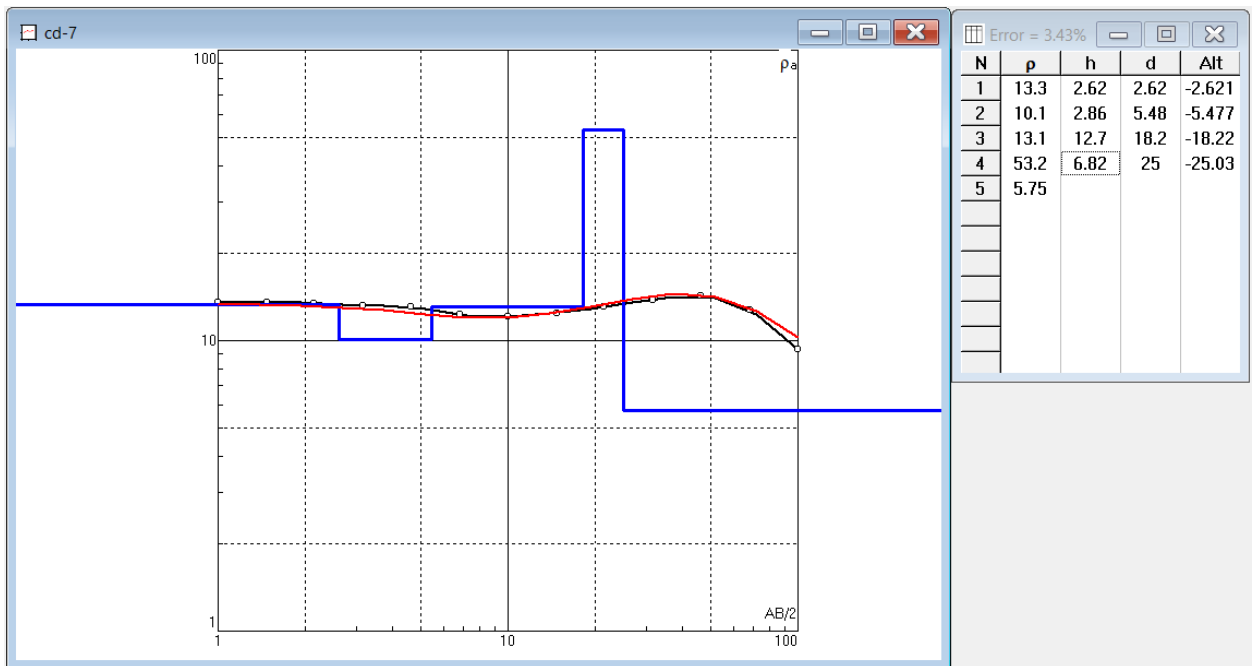
**Figura 6.5. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-06.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.9. Capas de resistividad del SEV-CD-06.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Grava y areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	0.565	0.565	22.6
2	Limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	9.69	10.3	6
3	Continuidad de Limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	6.84	17.1	6.21
4	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>6.87</b>	<b>24</b>	<b>32.5</b>
5	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	532



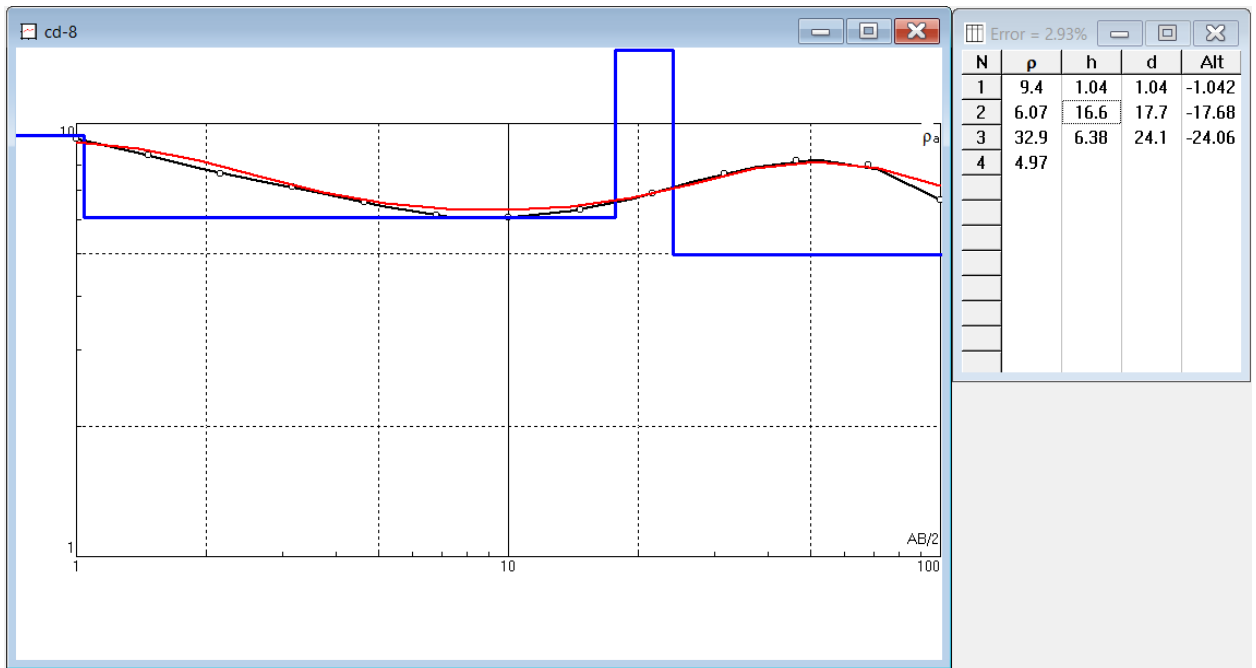
**Figura 6.6. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-07.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.10. Capas de resistividad del SEV-CD-07.**

Fuente: Elaboración propia

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Limo arenoso (Material semipermeable)	2.62	2.62	13.3
2	Continuidad de Limo arenoso (Material semipermeable)	286	5.86	10.1
3	Continuidad de Limo arenoso (Material semipermeable)	12.7	18.2	13.1
4	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>6.82</b>	<b>25</b>	<b>53.2</b>
5	Limo arcilloso (Material poco permeable y/o salino)	-	-	5.75



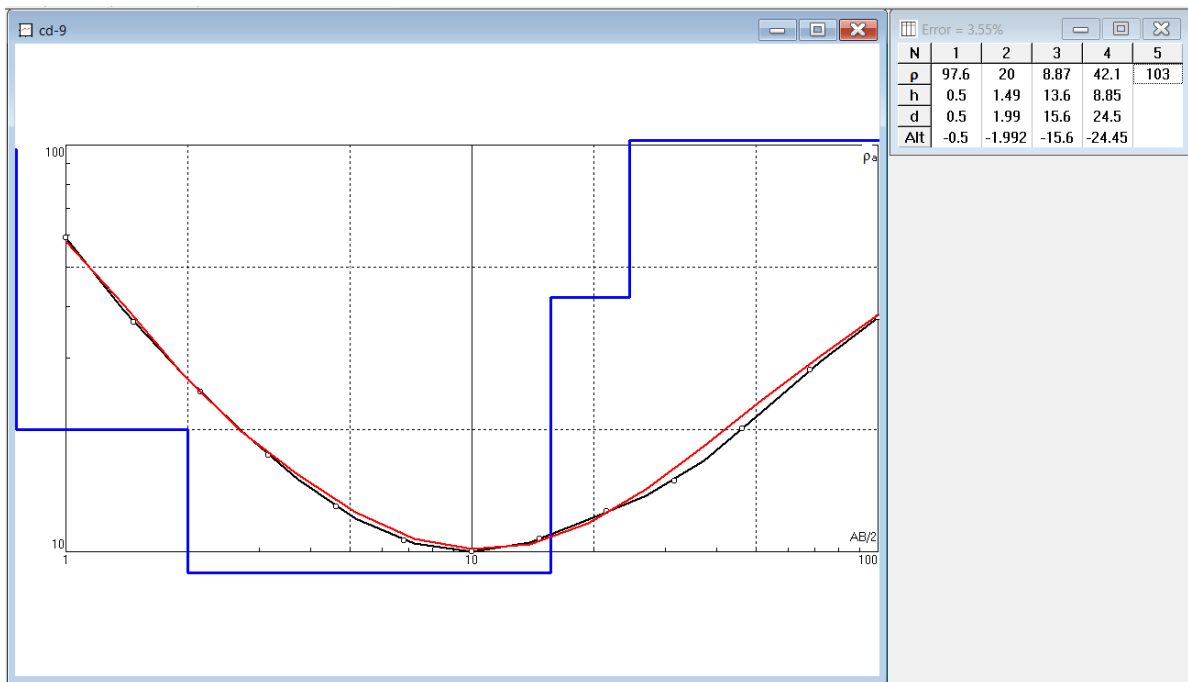
**Figura 6.7. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-08.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.11. Capas de resistividad del SEV-CD-08.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Limo-arenoso (Material semipermeable)	1.04	1.04	9.4
2	Continuidad de Limo-arenoso (Material semipermeable)	16.6	17.7	6.07
3	<b>Gravas y arenas</b> <b>(Material permeable)</b>	<b>6.38</b>	<b>24.1</b>	<b>32.9</b>
4	Limo arcilloso (Material poco permeable y/o salino)		-	4.97



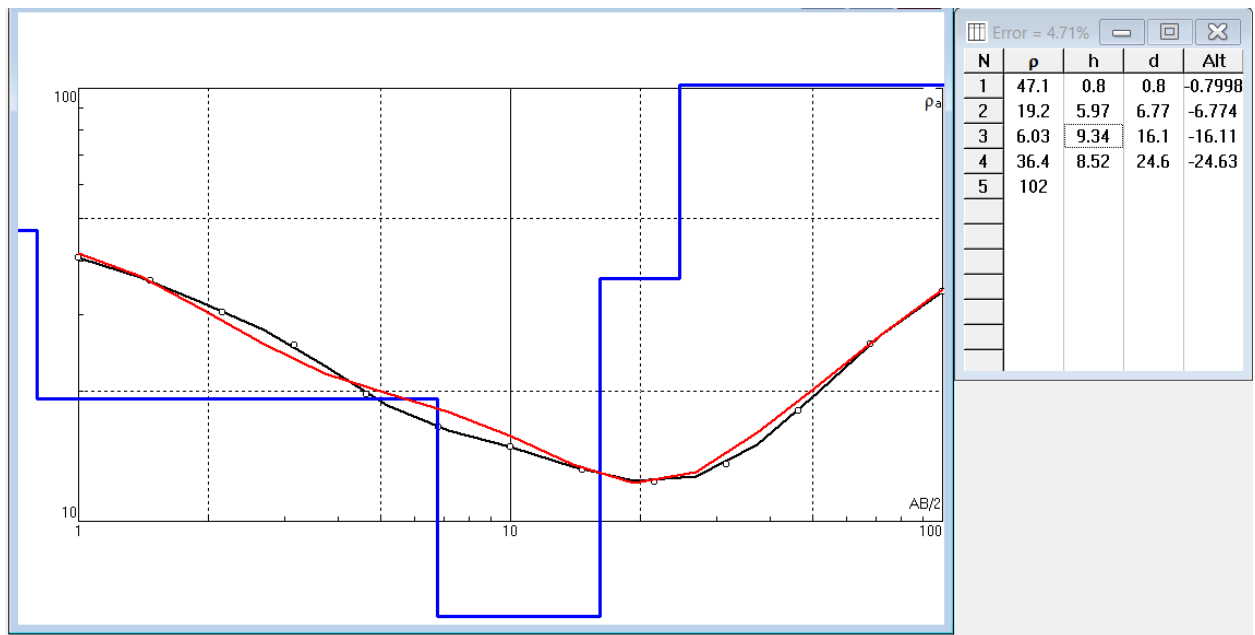
**Figura 6.8. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-09.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.12. Capas de resistividad del SEV-CD-09.**

Fuente: Elaboración propia

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo húmedo (Material semipermeable)	0.5	0.5	97.6
2	Grava y areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	1.49	1.99	20
3	Limo-arenoso (Material semipermeable)	13.6	15.6	8.87
4	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>8.85</b>	<b>24.5</b>	<b>42.1</b>
5	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	103



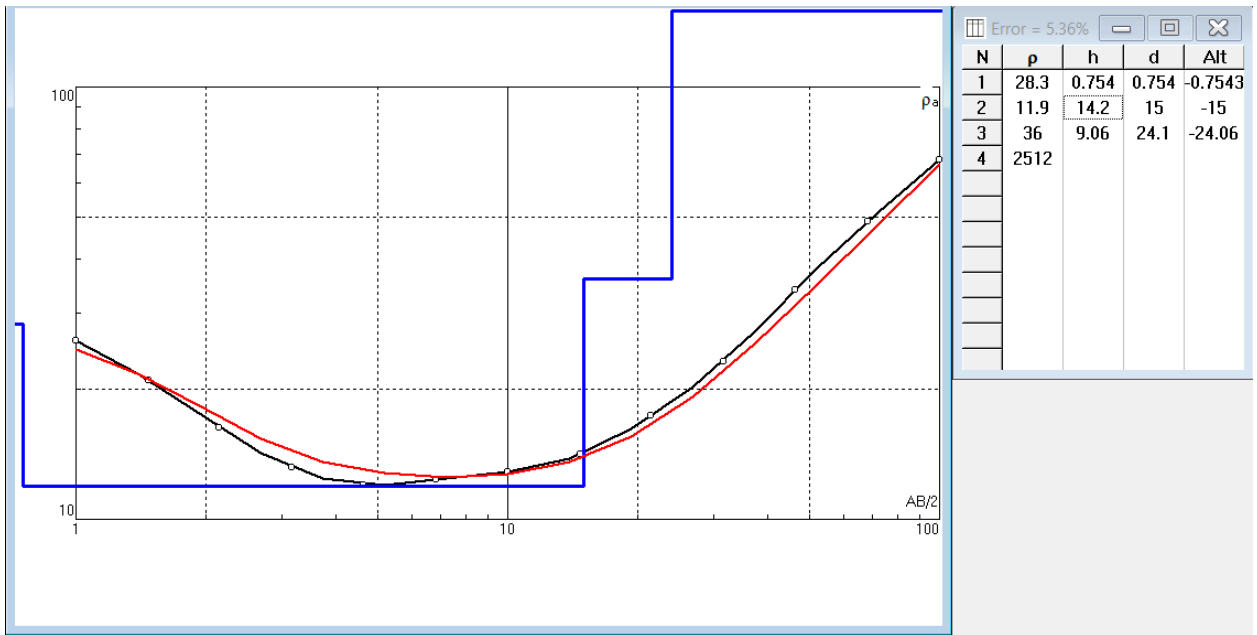
**Figura 6.9. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-10.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.13. Capas de resistividad del SEV-CD-10.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo húmedo (Material semipermeable)	0.8	0.8	47.1
2	Grava y areno limoso (Material semipermeable a permeable)	5.97	6.77	19.2
3	Limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	9.34	16.1	6.03
4	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>8.52</b>	<b>24.6</b>	<b>36.4</b>
5	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	102



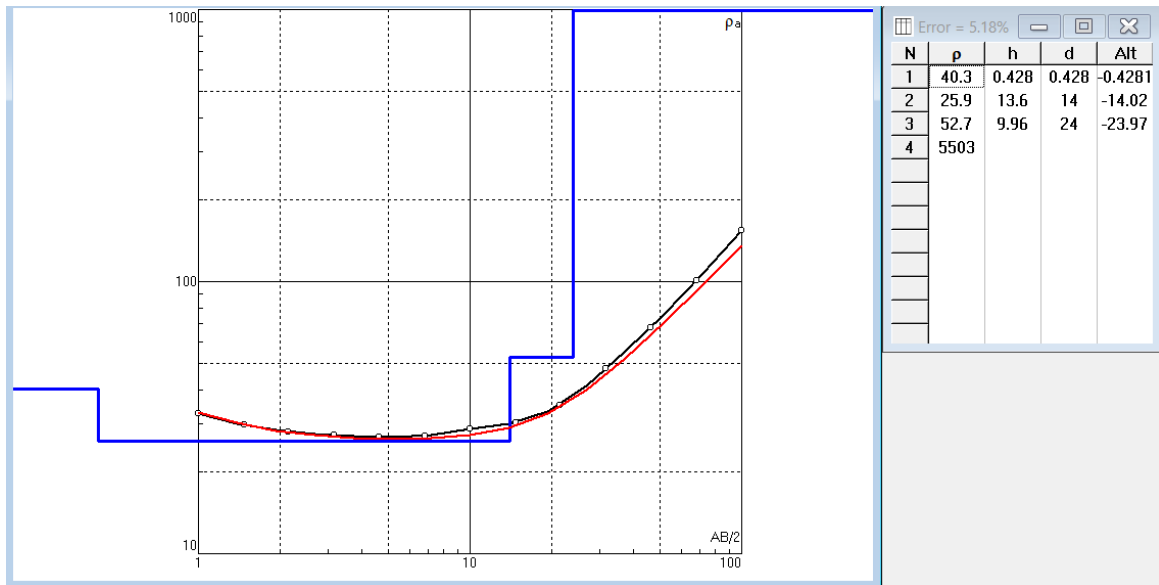
**Figura 6.10. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-11.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.14. Capas de resistividad del SEV-CD-11.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Grava y areno limoso (Material semipermeable)	0.754	0.754	28.3
2	Limo arenoso (Material semipermeable)	14.2	15	11.9
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>9.06</b>	<b>24.1</b>	<b>36</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)	-	-	2512



**Figura 6.11. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-12.**

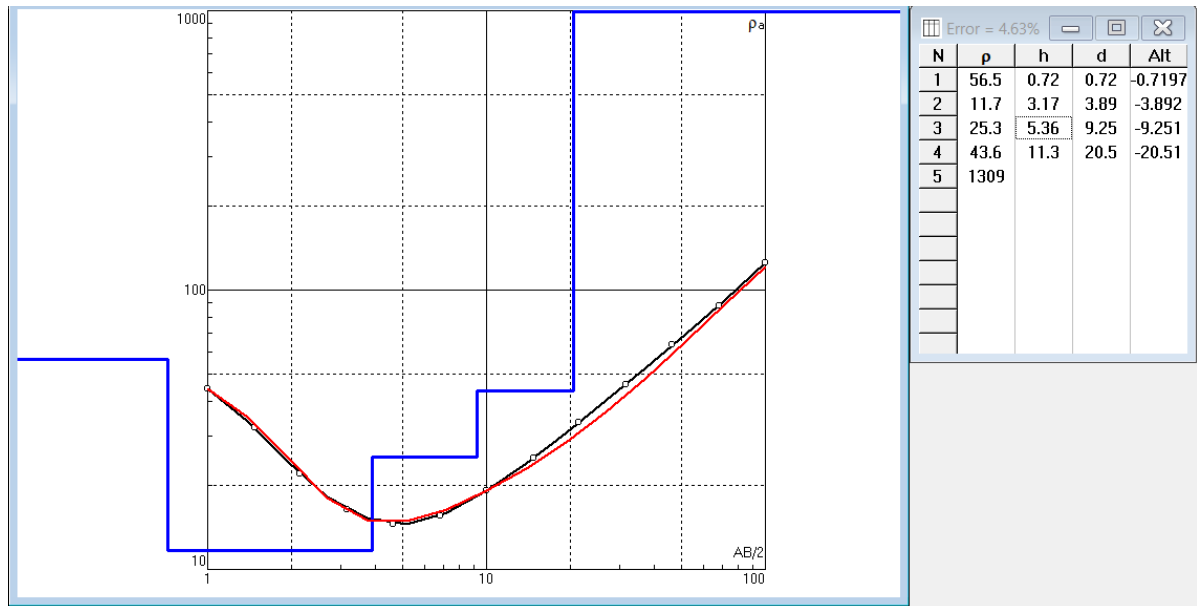
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.15. Capas de resistividad del SEV-CD-12.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo húmedo (Material semipermeable)	0.428	0.428	40.3
2	Grava y areno-limoso (Material permeable)	13.6	14	25.9
3	<b>Gravas y arenas</b> <b>(Material permeable)</b>	<b>9.96</b>	<b>24</b>	<b>52.7</b>
4	Continuidad de material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	5503





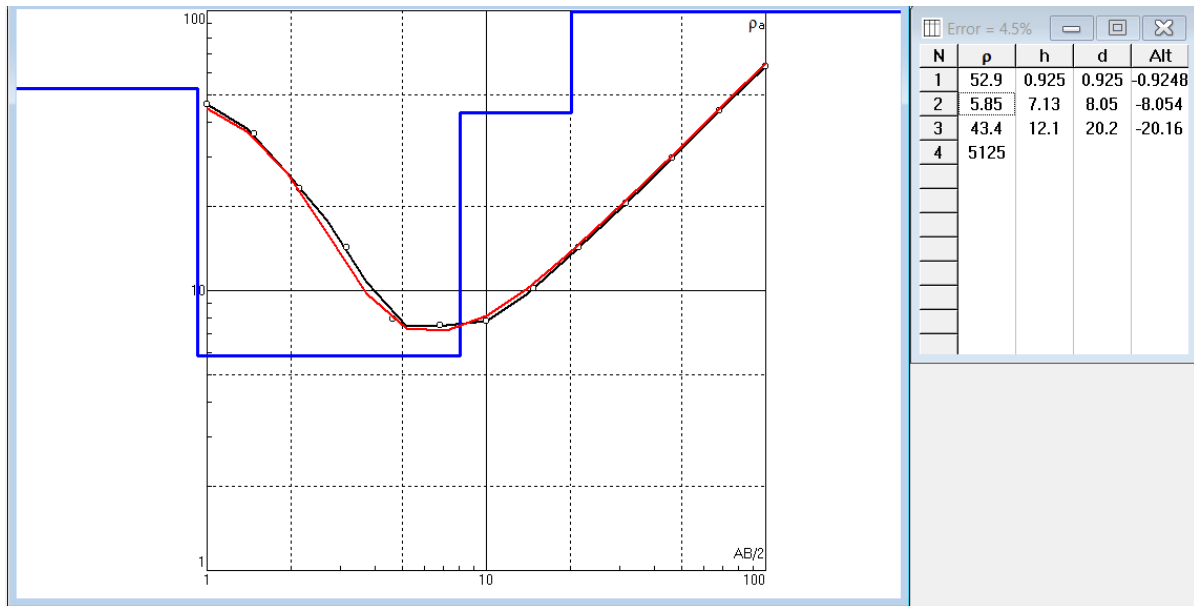
**Figura 6.12. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-13.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.16. Capas de resistividad del SEV-CD-13.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	<b>Suelo húmedo</b> (Material semipermeable)	0.72	0.72	56.5
2	Limo arenoso (Material semipermeable)	3.17	3.89	10
3	Grava y arena limoso (Material semipermeable a permeable)	5.36	9.25	25.7
4	<b>Gravas y arenas</b> <b>(Material permeable)</b>	<b>11.3</b>	<b>20.5</b>	<b>43.6</b>
5	Continuidad de material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	1309



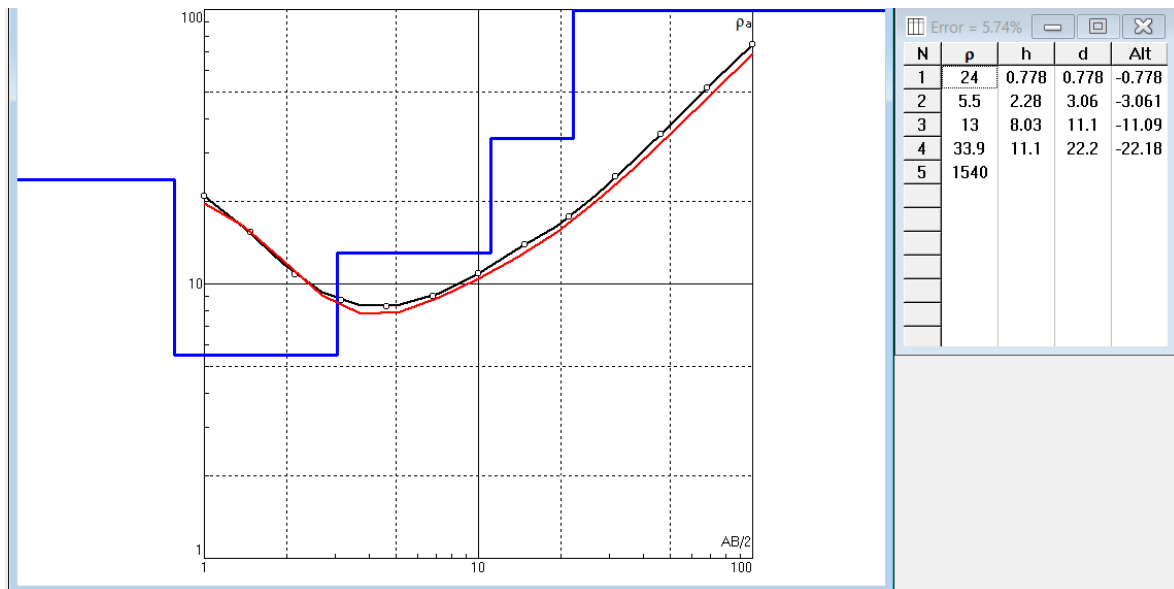
**Figura 6.13. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-14.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.17. Capas de resistividad del SEV-CD-14.**

**Fuente: Elaboración propia.**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo húmedo (Material semipermeable)	0.925	0.925	52.9
2	Limo arcilloso (Material poco permeable y/o salino)	7.13	8.05	5.85
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>12.1</b>	<b>20.2</b>	<b>43.4</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	5125



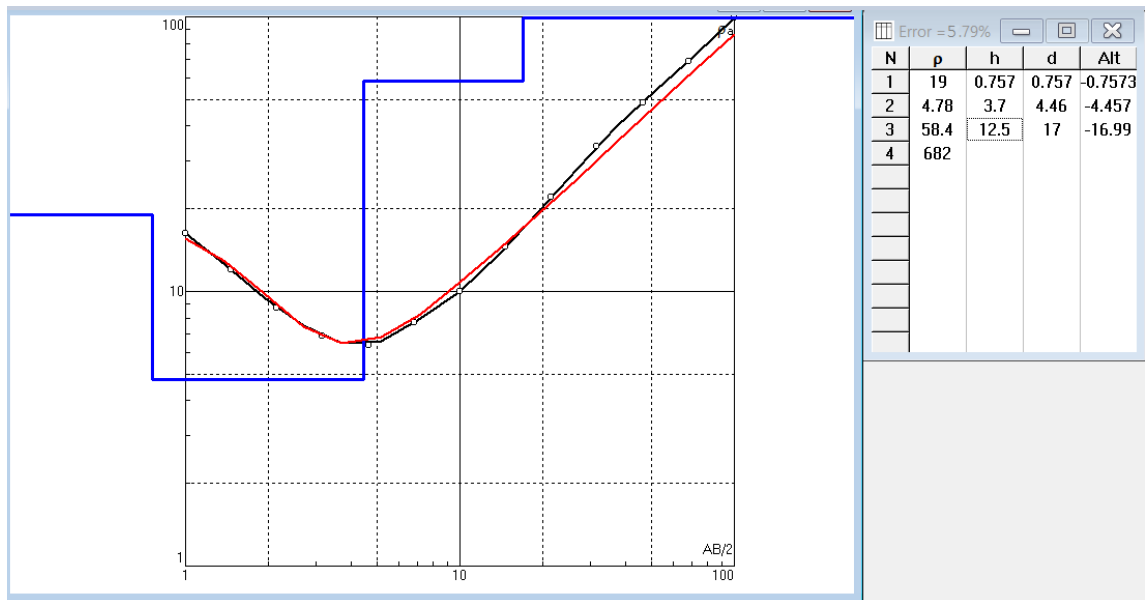
**Figura 6.14. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-15.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.18. Capas de resistividad del SEV-CD-15.**

Fuente: Elaboración propia

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo húmedo (Material semipermeable)	0.778	0.778	24
2	Limo arcilloso (Material poco permeable y/o salino)	2.28	3.06	5.5
3	Areno limoso con grava (Material semipermeable a permeable)	8.03	11.1	13
4	<b>Gravas y arenas</b> <b>(Material permeable)</b>	<b>11.1</b>	<b>22.2</b>	<b>33.9</b>
5	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	1540



**Figura 6.15. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-CD-16.**

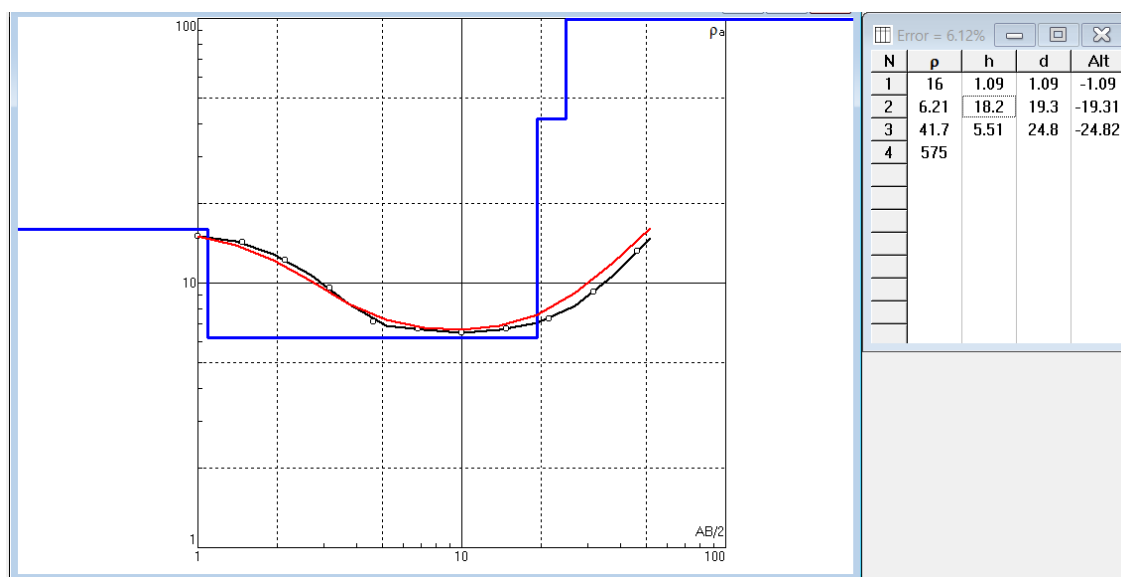
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.19. Capas de resistividad del SEV-CD-16.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Grava y areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	0.757	0.757	19
2	Limo-arcilloso (Material poco permeable y/o salino)	3.7	4.46	4.78
3	<b>Gravas y arenas (material permeable)</b>	<b>12.5</b>	<b>17</b>	<b>58.4</b>
4	Continuidad de material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	682

## ANEXOS-C: Interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales en Libertador Bolívar



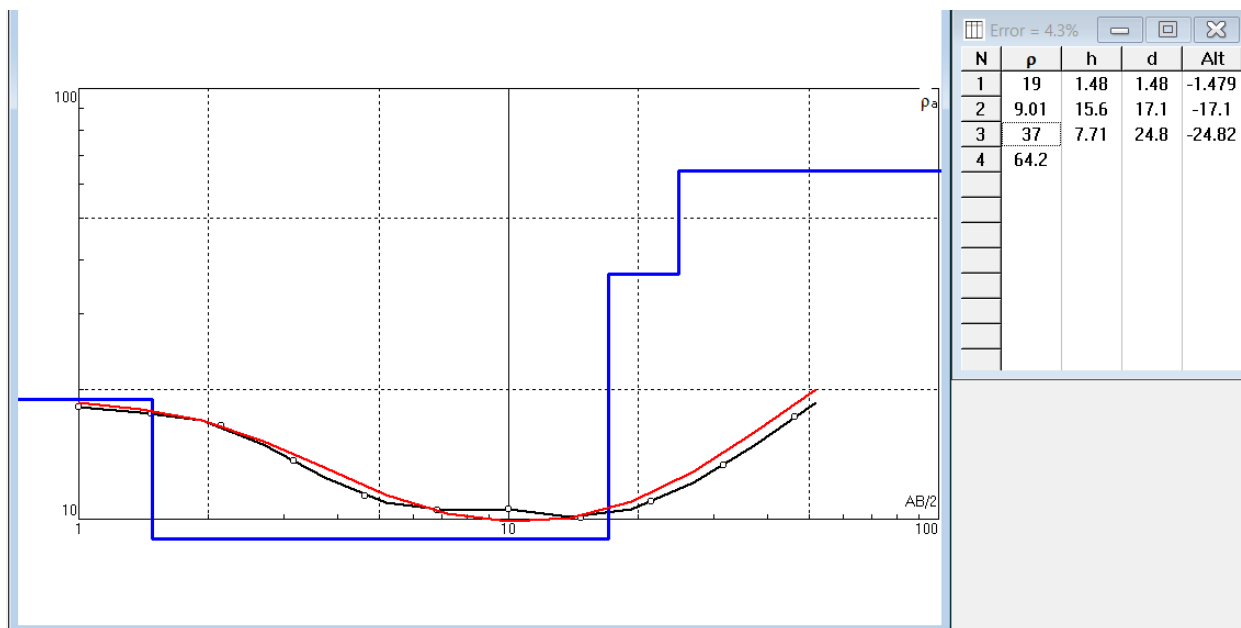
**Figura 6.16. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-02.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.20. Capas de resistividad del SEV-LB-02.**

Fuente: Elaboración propia

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Grava y areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	1.09	1.09	16
2	Suelo limo-arenoso (Material semipermeable)	18.2	19.3	6.21
3	<b>Gravas y arenas (material permeable)</b>	<b>5.51</b>	<b>24.8</b>	<b>41.7</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	575



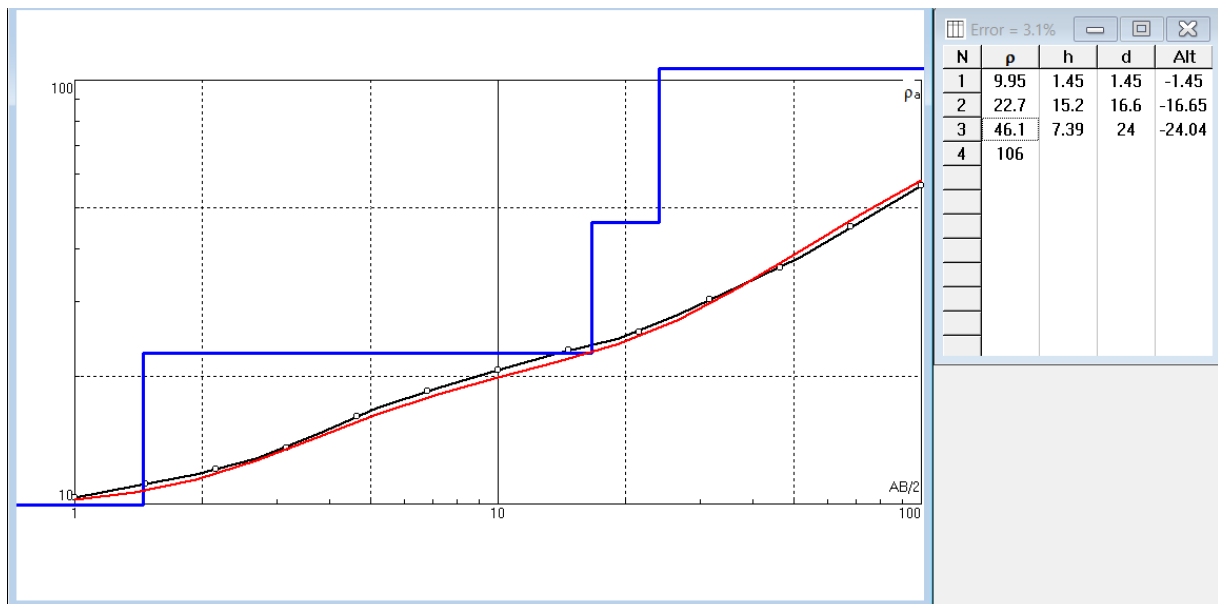
**Figura 6.17. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-03.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.21. Capas de resistividad del SEV-LB-03.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo arenoso con areno-arcilloso (Material semipermeable)	1.48	1.48	19
2	Limo arenoso (Material semipermeable a permeable)	15.6	17.1	9.01
3	<b>Gravas y arenas (material permeable)</b>	<b>7.71</b>	<b>24.8</b>	<b>37</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	64.2



**Figura 6.18. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-04.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.22. Capas de resistividad del SEV-LB-04.**

**Fuente: Elaboración propia.**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo limo arenoso	1.45	1.45	9.95
2	Grava y areno limoso (Material semipermeable)	15.2	16.6	22.7
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>7.39</b>	<b>24</b>	<b>46.1</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	106

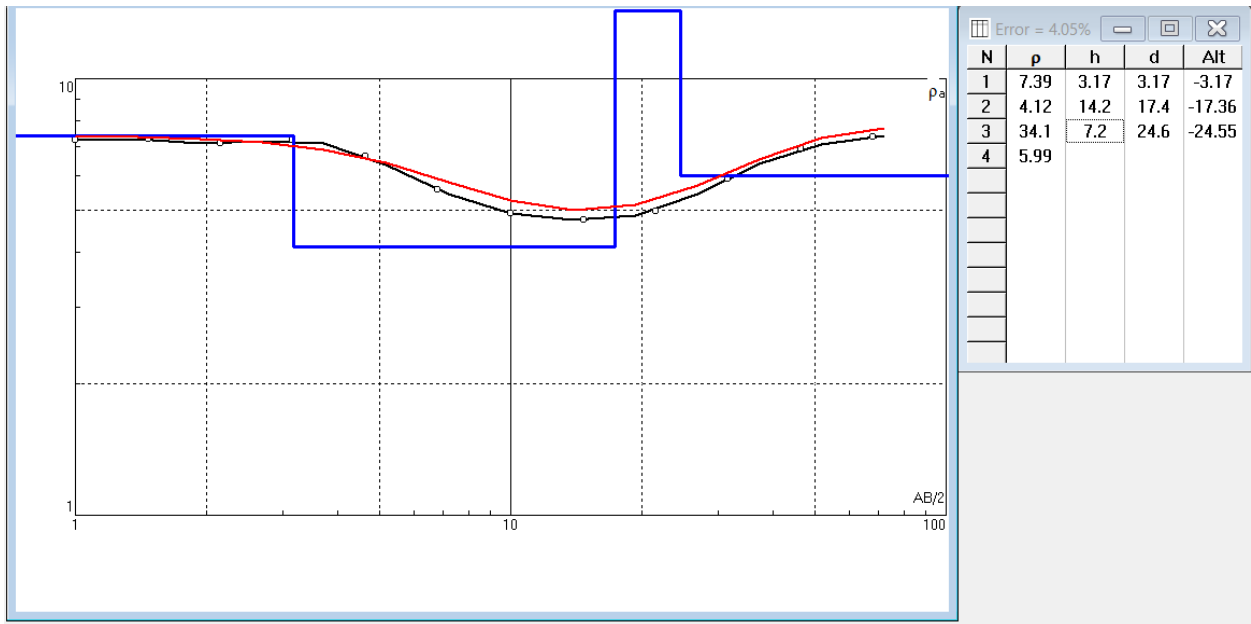


Figura 6.19. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-05.

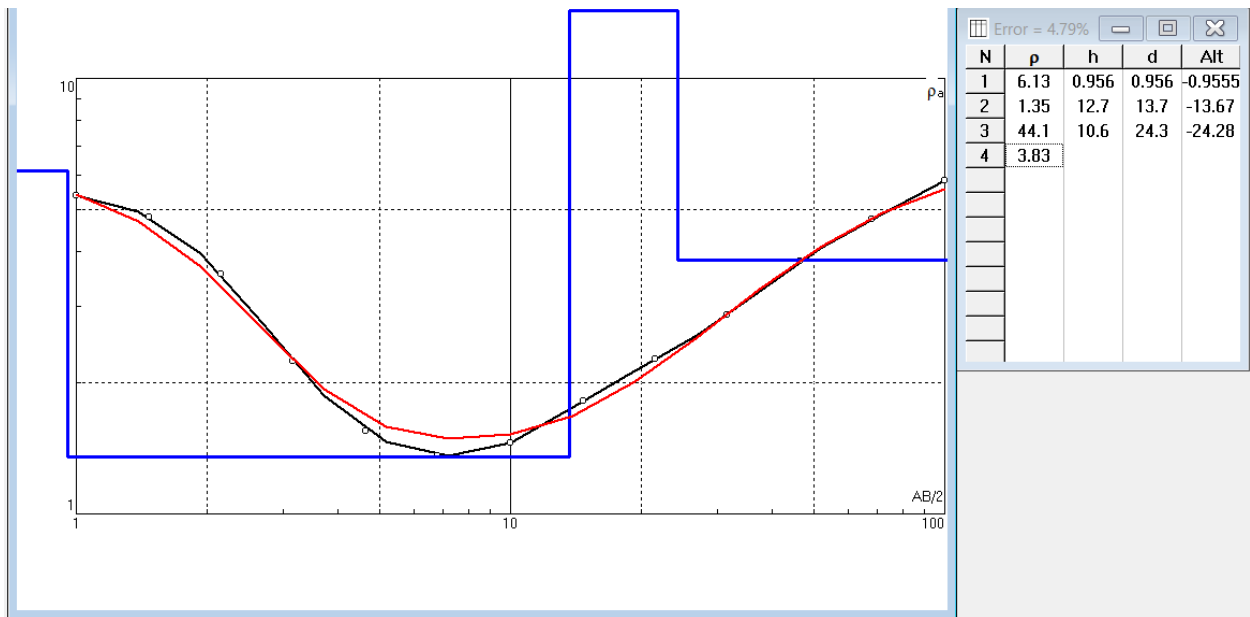
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.23. Capas de resistividad del SEV-LB-05.

Fuente: Elaboración propia.

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Suelo limo arenoso	3.17	3.17	7.39
2	Limo arcilloso (Material poco permeable y/o salino)	14.2	17.4	4.12
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>7.2</b>	<b>24.6</b>	<b>34.1</b>
4	Limo arcilloso (Material poco permeable y/o salino)		-	5.99





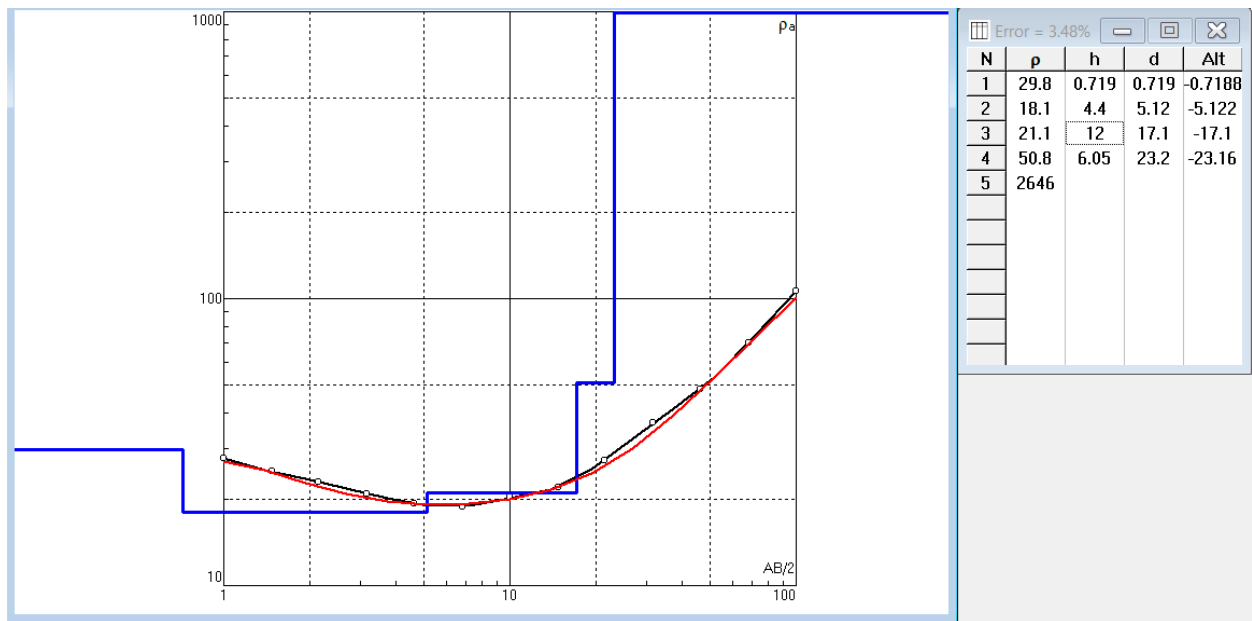
**Figura 6.20. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-06.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.24. Capas de resistividad del SEV-LB-06.**

**Fuente: Elaboración propia**

<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Espesor h(m)</b>	<b>Profundidad d(m)</b>	<b>Resistividad <math>\rho</math> (<math>\Omega</math>.m)</b>
<b>1</b>	Suelo limo arenoso	0.956	0.956	6.13
<b>2</b>	Arcillas con grado de salinidad (Material poco permeable, próximo a la cuña salina)	12.7	13.7	1.35
<b>3</b>	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>10.6</b>	<b>24.3</b>	<b>44.1</b>
<b>4</b>	Arcillas con grado de salinidad (Material poco permeable a impermeable)		-	3.83



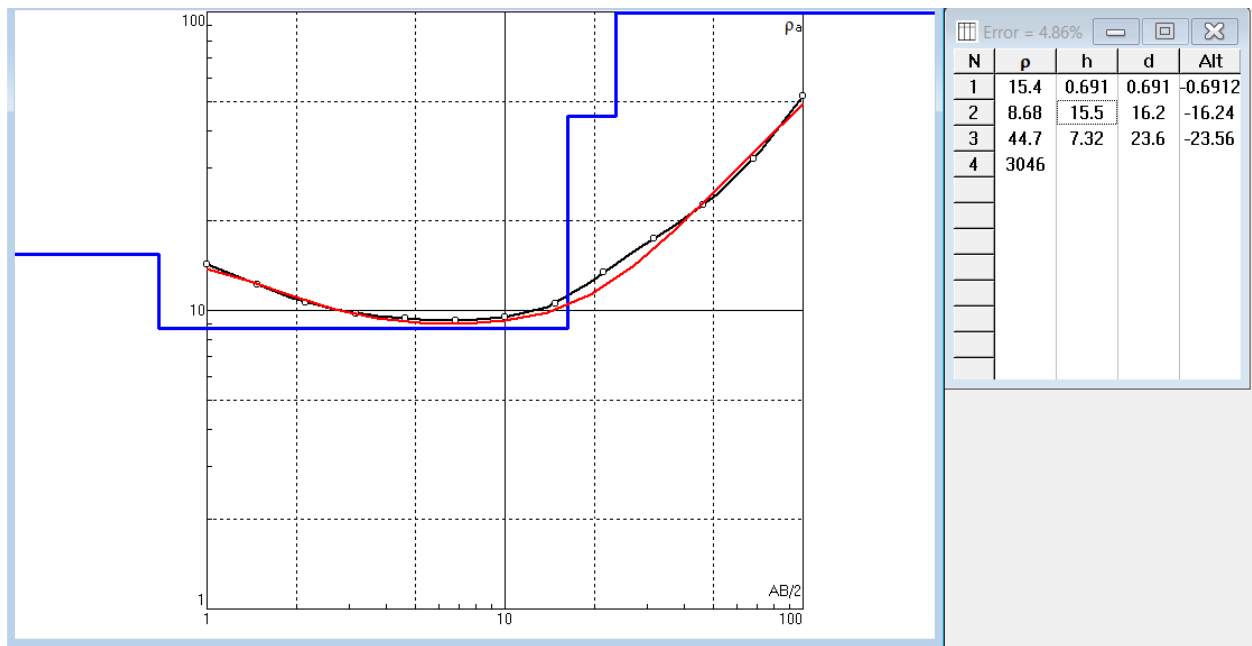
**Figura 6.21. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-07.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.25. Capas de resistividad del SEV-LB-07.**

**Fuente: Elaboración propia.**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Suelo areno limoso	0.719	0.719	29.8
2	Grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	4.4	5.12	18.1
3	Continuidad de grava y areno-limoso (material semipermeable a permeable)	12	17.1	21.2
4	<b>Gravas y arenas (material permeable)</b>	<b>6.05</b>	<b>23.2</b>	<b>50.8</b>
5	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado		-	2646



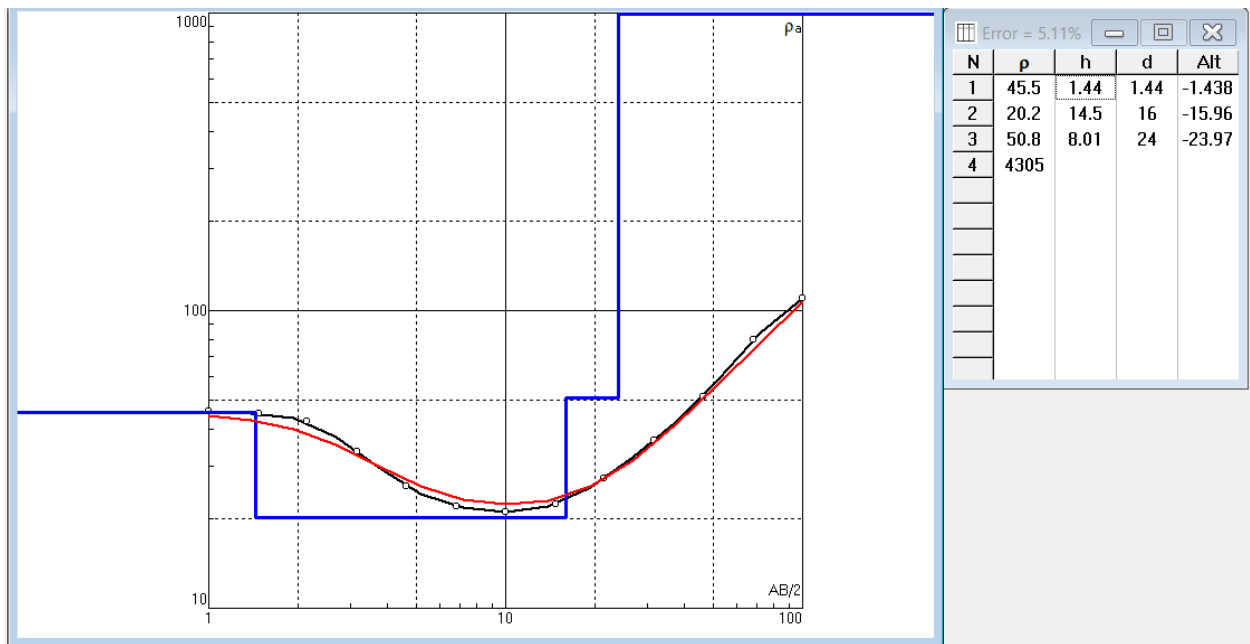
**Figura 6.22. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-08.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.26. Capas de resistividad del SEV-LB-08.**

**Fuente: Elaboración propia.**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Suelo Limo-arenoso (Material semipermeable)	0.691	0.691	15.4
2	Limo-arenoso (Material semipermeable)	15.5	16.2	8.68
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>7.32</b>	<b>23.6</b>	<b>44.7</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	3046



**Figura 6.23. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-LB-09.**

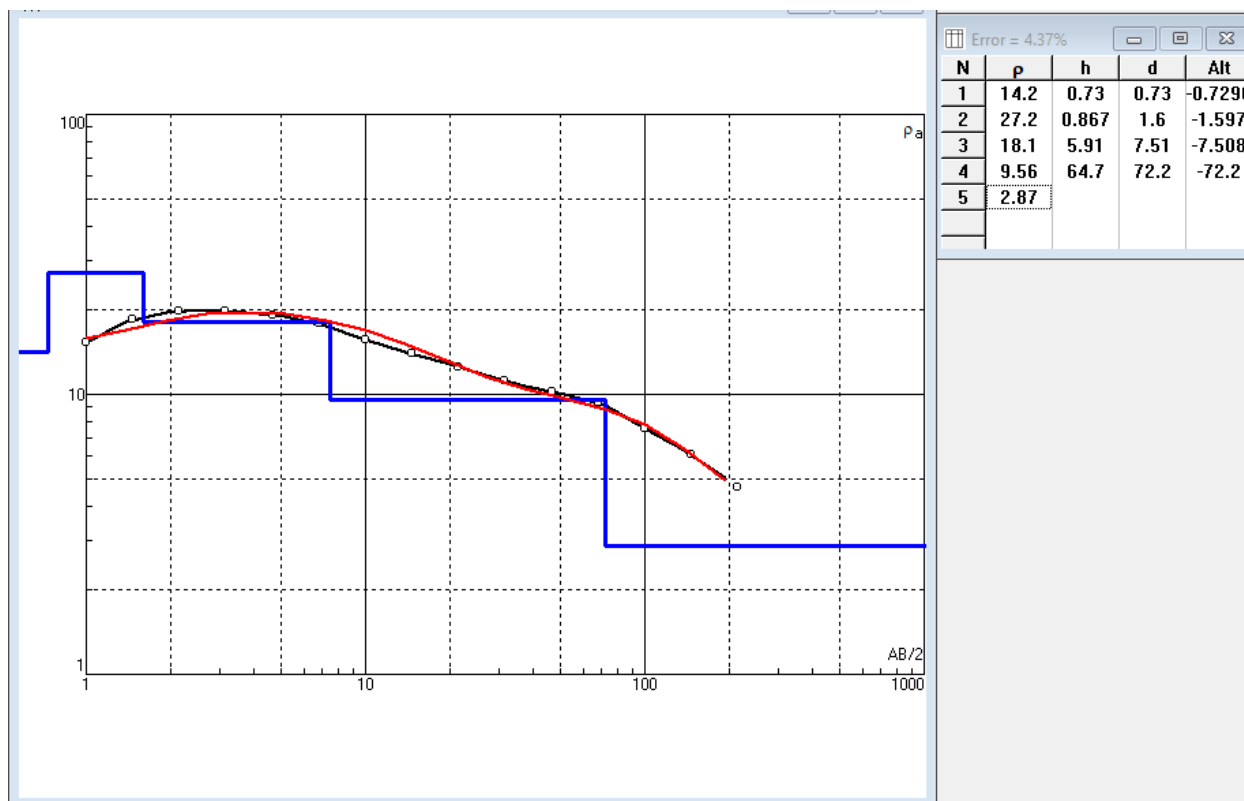
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.27. Capas de resistividad del SEV-LB-09.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Suelo húmedo	1.44	1.44	45.5
2	Grava y areno limoso (Material semipermeable a permeable)	14.5	16	20.2
3	<b>Gravas y arenas (Material permeable)</b>	<b>8.01</b>	<b>24.0</b>	<b>50.8</b>
4	Material consolidado, bedrock, lecho rocoso fracturado (Material poco permeable a impermeable)		-	4305

## ANEXOS-D: Interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales en Manglaralto



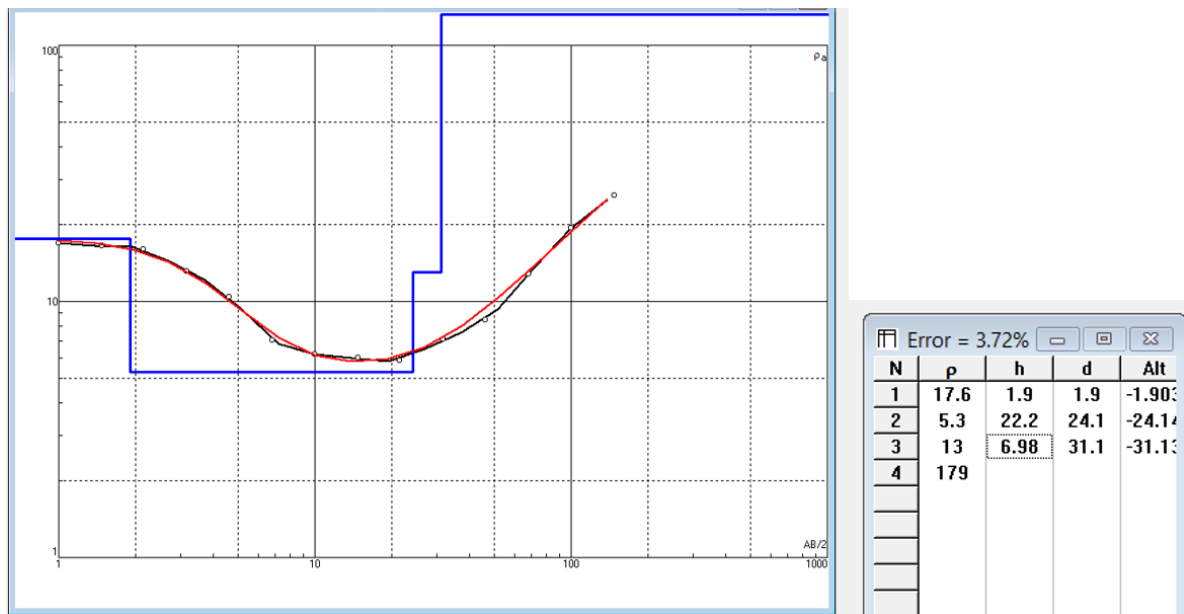
**Figura 6.24. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-43.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.28. Capas de resistividad del SEV-MA-43.**

**Fuente: Elaboración propia**

N	Descripción	Esesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Suelo arenoso con areno arcilloso	0.73	0.73	14.2
2	Grava y areno limoso (Material semipermeable a permeable)	0.867	1.6	27.2
3	Continuidad de grava y areno limoso (Material semipermeable a permeable)	5.91	7.51	18.1
4	Limo arenoso (Material semipermeable)	64.7	72.2	9.56
5	Limo arcilloso (Material poco permeable)		-	2.87



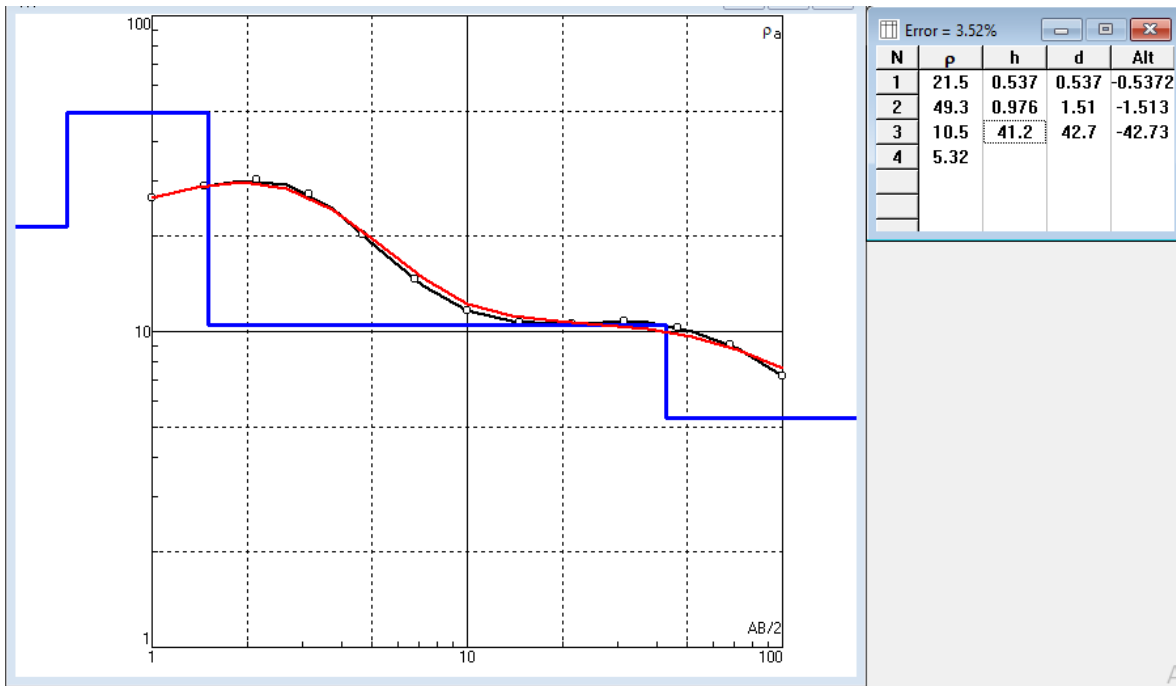
**Figura 6.25. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-44.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.29. Capas de resistividad del SEV-MA-44.**

**Fuente: Elaboración propia.**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Grava y areno limoso (Material semipermeable a permeable)	1.9	1.9	17.6
2	Limo arcilloso (Material poco permeable)	22.2	24.1	5.3
3	Limo arenoso (material semipermeable)	6.98	31.1	13
4	Roca consolidada (Material poco permeable a impermeable)		-	179



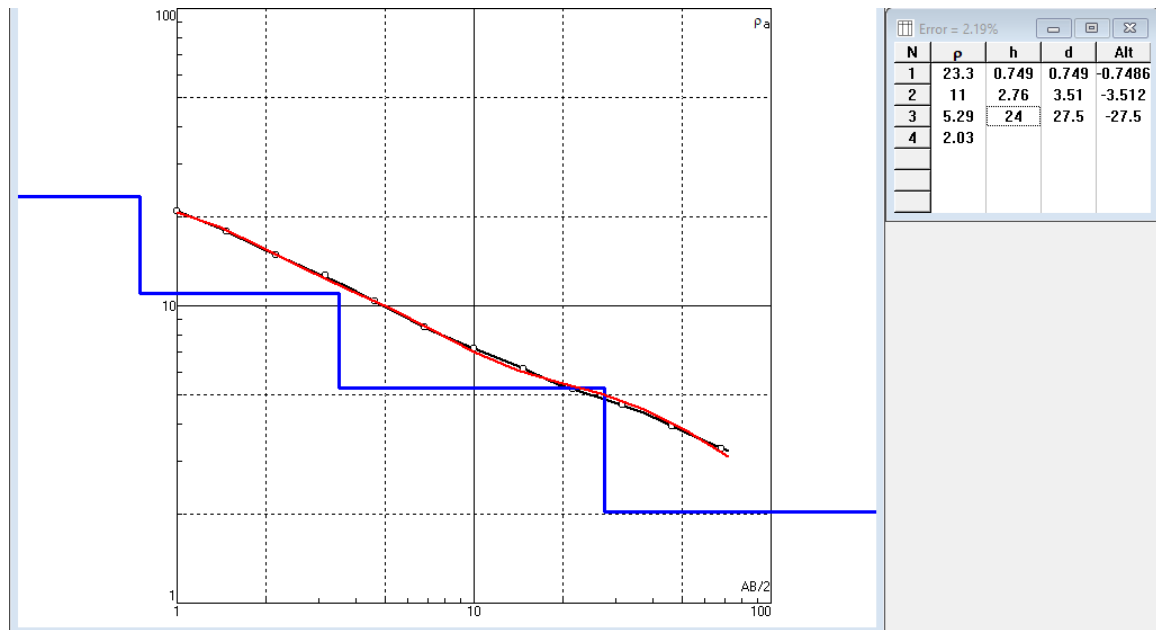
**Figura 6.26. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-45.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.30. Capas de resistividad del SEV-MA-45.**

Fuente: Elaboración propia.

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad ρ (Ω.m)
1	Grava y areno-limoso (Material semipermeable a permeable)	0.537	0.537	21.5
2	<b>Gravas y arenas</b> <b>(Material permeable)</b>	<b>0.976</b>	<b>1.51</b>	<b>49.3</b>
3	Limo arenoso (Material semipermeable)	41.2	42.7	10.5
4	Limo arcilloso (Material poco permeable)		-	5.32



**Figura 6.27. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-46.**

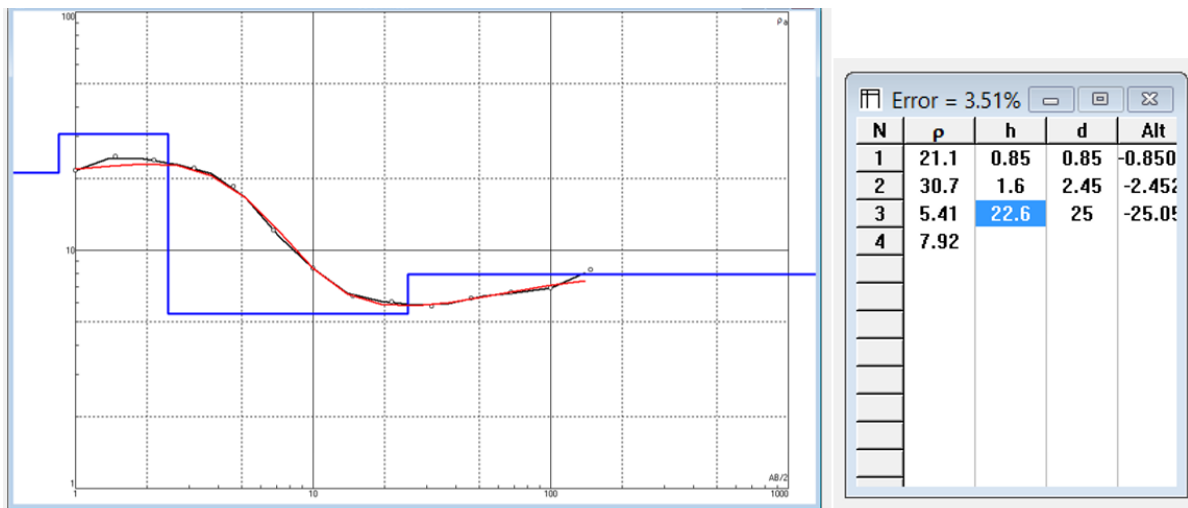
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.31. Capas de resistividad del SEV-MA-46.**

**Fuente: Elaboración propia.**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Grava y areno limoso (Material semipermeable a permeable)	0.749	0.749	23.3
2	Limo arenoso (material semipermeable)	2.76	3.51	11
3	Limo arcilloso (Material poco permeable)	24	27.5	5.29
4	Limo arcilloso (Material poco permeable)		-	2.03





**Figura 6.28. Curva de resistividad aparente y tabla de resistividades generada en IPI2WIN para el sondeo SEV-MA-47.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 6.32. Capas de resistividad del SEV-MA-47.**

**Fuente: Elaboración propia.**

N	Descripción	Espesor h(m)	Profundidad d(m)	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ .m)
1	Suelo húmedo	0.85	0.85	21.1
2	Grava y areno limoso (Material permeable)	1.6	2.45	30.7
3	Limo arcilloso (Material poco permeable)	22.6	25	5.41
4	Limo arenoso (material poco permeable)			7.92

