



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MANGLARALTO
PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUS SISTEMAS ACUÍFEROS”**

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentado por:

JUAN IGNACIO VALENCIA ROBLES

**GUAYAQUIL-ECUADOR
2017**

DEDICATORIA

A mis familiares y amigos.

Juan Ignacio Valencia Robles

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y darme fuerza para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres y hermanos por su amor y paciencia. A mi tutor Paúl César Carrión por haberme abierto las puertas del CIPAT-ESPOL para la realización de este trabajo; así como a mi profesor de la Materia Integradora Jorge Alberto Coronel, por todos sus consejos y apoyo.

A mis amigos geólogos, del CIPAT, de OSJA, a todos, por sus palabras y obras que han marcado mi vida.

Juan Ignacio Valencia Robles

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

**M.Sc. Jorge Alberto Coronel Quinteros
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA**

**Ph.D. Paúl César Carrión Mero
DIRECTOR DE TESIS**

**Ph.D. Carlos Eduardo Martillo Bustamante
MIEMBRO EVALUADOR**

**M.Sc. Glenda Cecilia Loayza Toro
MIEMBRO EVALUADOR**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

Juan Ignacio Valencia Robles

RESUMEN

Este trabajo forma parte de los estudios hidrogeológicos que ha realizado el CIPAT-ESPOL, buscando responder al creciente consumo de agua en la parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena, donde especialmente en las épocas de estiaje escasea este recurso debido a que es una zona en déficit hídrico.

Se realizó la caracterización hidrogeológica de los acuíferos de la cuenca del río Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar, mediante la integración del análisis espacial de parámetros hidrogeológicos, datos de prospección geoeléctrica y niveles piezométricos de los pozos de la zona de estudio, con la finalidad de obtener un modelo conceptual para cada acuífero, estimar sus reservas y proyectar su tiempo de vida según la tasa de consumo actual.

Se elaboró un mapa con la delimitación superficial de los tres acuíferos, y con los 40 SEVs realizados se determinó que los acuíferos se encuentran en una capa permeable de gravas y arenas, cubiertos por una unidad superior semipermeable compuesta en general por limo-arenas y una capa inferior impermeable compuesta por estratos arcillosos de la Fm. Zapotal y Socorro. Finalmente se estimó el volumen explotable del acuífero de Manglaralto en 9'880.779 m³, que al ritmo de consumo actual, sin un plan de recarga

artificial, se agotaría en aproximadamente cuatro años, pero si se utilizan las reservas del acuífero de Cadeate y Simón Bolívar que representan el 44% del volumen total del acuífero de Manglaralto, su periodo de vida se extendería aproximadamente 3.5 años, con la oportunidad de renovar o mantener los sistemas de recarga para su sostenibilidad.

PALABRAS CLAVE: Acuífero, Sondeos Eléctricos Verticales, hidrogeología, Manglaralto.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XIII
SIMBOLOGÍA	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XXI
CAPÍTULO 1:	24
INTRODUCCIÓN	24
1.1. Antecedentes.....	25
1.2. Ubicación del Proyecto	31
1.3. Datos Socioeconómicos	33
1.3.1. Población	34
1.3.2. Servicios Básicos	35

1.4.	Planteamiento del Problema.....	36
1.5.	Justificación	45
1.6.	Hipótesis y su operacionalización.....	47
1.7.	Objetivos.....	48
1.7.1.	General	48
1.7.2.	Específicos.....	49
1.8.	Metodología General	50
1.8.1.	Primera Fase: Estudios Preliminares	51
1.8.2.	Segunda Fase: Análisis de Alternativas a la Problemática	52
1.8.3.	Tercera Fase: Interpretación de Resultados y su Aplicación	53
CAPÍTULO 2:		54
MARCO TEÓRICO		54
2.1.	Conceptos Básicos de Hidrogeología.....	55
2.1.1.	Ciclo Hidrológico	55
2.1.2.	Factores que influyen en el almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas.....	55
2.1.3.	Tipos de Acuíferos	59
2.1.4.	Balance hídrico en una cuenca	60
2.1.5.	Recarga artificial de Acuíferos	61
2.1.6.	Intrusión Salina.....	65
2.2.	Exploración Hidrogeológica	68
2.2.1.	Prospección a partir de Sistemas de Información Geográfica... 68	
2.2.1.1.	Factores Condicionantes	70
2.2.1.2.	Factores Desencadenantes	
2.2.2.	Prospección Geofísica	73
2.2.2.1.	Métodos Geoeléctricos (Auge, 2008)	74
2.2.2.2.	Medición de la Resistividad.	77
2.2.2.3.	Proceso de Medición en Campo y Procesamiento de Datos.	82

CAPÍTULO 3.....	85
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	85
3.1. Geología	86
3.1.1. Fm. Cayo (Cretácico Superior) (K K).....	88
3.1.2. Fm. San Eduardo (Eoceno Medio)	90
3.1.2.1. Miembro Javita (Eoceno Medio) (EN).....	90
3.1.3. Grupo Ancón (Eoceno Medio y Superior).....	91
3.1.3.1. Fm. Socorro (Eoceno Medio y Superior) (E3).....	91
3.1.3.2. Fm. Seca (Eoceno Superior) (E2).....	92
3.1.4. Fm. Tosagua (Mioceno Inferior – Mioceno Medio)	93
3.1.4.1. M. Dos Bocas (Mioceno Inferior) (M Db)	93
3.1.4.2. M. Zapotal (Mioceno Inferior) (O Zp)	94
3.1.5. Fm. Tablazo (Pleistoceno – Holoceno) (QT)	94
3.1.6. Depósitos Aluviales (Holoceno)	96
3.2. Tectónica Regional	96
3.3. Clima.....	98
3.3.1. Precipitaciones.....	99
3.3.2. Temperatura.....	101
3.4. Red Hidrográfica	103
3.5. Hidrogeología	108
3.5.1. Características Hidrogeológicas.....	108
3.5.2. Geometría del Acuífero	111
3.6. Demanda de agua	113
3.6.1. Gestión del Agua Subterránea	116

CAPÍTULO 4.....	119
TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO	119
4.1. Metodología para la elaboración del mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas.....	120
4.1.1. Fase I: Recopilación de información	121
4.1.2. Fase II: Identificación y clasificación de los parámetros.....	121
4.1.2.1. Factores Condicionantes	123
4.1.2.2. Factor desencadenante	132
4.1.3. Fase III. Procesamiento de datos en Arcgis 10.3.....	133
4.1.3.1. Reclasificación y Valoración	137
4.1.3.2. Ponderaciones de los valores asignados	146
4.1.3.3. Generación del mapa de las zonas potenciales de aguas subterráneas	149
4.2. Trabajo de Campo	150
4.2.1. Reconocimiento de Campo	150
4.2.1.1. Subcuenca río Manglaralto.....	150
4.2.1.2. Subcuenca río Cadeate	151
4.2.1.3. Subcuenca río Simón Bolívar	151
4.2.2. Prospección geoelectrica	152
4.2.2.1. SEVs subcuenca río Manglaralto.....	155
4.2.2.2. SEVs subcuenca río Cadeate.....	158
4.2.2.3. SEVs subcuenca Simón Bolívar	160
4.2.3. Datos de Pozos	163
4.2.3.1. Inventario de Pozos	164
4.3. Balance Hídrico del suelo de la cuenca de Manglaralto	165

CAPÍTULO 5..... 169

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 169

5.1. Resultados del mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas	170
5.1.1. Mapa de potencialidad de zonas acuíferas por los factores condicionantes	170
5.1.2. Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas	172
5.2. Resultados de la Campaña de Campo	174
5.2.1. Prospección Geofísica	174
5.2.2. Perfiles Geoeléctricos	175
5.2.2.1. Depósitos Aluviales de la subcuenca del río Manglaralto.	176
5.2.2.2. Depósitos aluviales de la subcuenca del río Cadeate	185
5.2.2.3. Depósitos aluviales de la subcuenca del río Simón Bolívar	191
5.3. Resultados del Balance Hídrico de Suelos	198
5.4. Relación Acuífero – Demanda	201

CAPÍTULO 6..... 206

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 206

CONCLUSIONES	207
--------------------	-----

RECOMENDACIONES.....	211
----------------------	-----

ANEXOS

BILIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

JAAPMAN	Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IGM	Instituto Geográfico Militar
IEE	Intituo Espacial Ecuatoriano
CIPAT	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
PSE	Península de Santa Elena
DGGM	Dirección General de Geología y Minas
LULC	Land Use and Land Cover

SIMBOLOGÍA

m	Metros
mm	Milímetros
m ³	Metros Cúbicos
Km	Kilómetro
Km ²	Kilómetro Cuadrado
°C	Grados Centígrados
Ωm	Ohmios Metros
ΔV	Diferencia de Potencial
K	Permeabilidad
T	Transmisividad
Q	Caudal
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical

DEM Digital Elevation Model

I Intensidad de Corriente

ρ_a Resistividad Aparente

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de la escasez física y económica a nivel mundial.	26
Figura 1.2 Distribución del agua de la Tierra	27
Figura 1.3 Esquema de la administración del agua en Ecuador.	28
Figura 1.4 Ubicación regional de la parroquia Manglaralto y sus cuencas hidrográficas	32
Figura 1.5 Ubicación local de las subcuencas de la cuenca del río Manglaralto.	33
Figura 1.6 Distribución de la población por género de la parroquia Manglaralto	34
Figura 1.7 Procedencia principal del agua recibida en los hogares de la parroquia Manglaralto	35
Figura 1.8 Mapa de los acuíferos de la parroquia Manglaralto	39
Figura 1.9 Esquema de la procedencia de agua potable en las comunas de Manglaralto	40
Figura 1.10 Diagrama de barras del consumo mensual por comunas.	42
Figura 1.11 Metodología propuesta para la presente investigación.	50
Figura 2. 1 Ciclo hidrológico.....	55

Figura 2. 2 Porosidad total y eficaz.	56
Figura 2. 3 Ley de Darcy.	57
Figura 2. 4 Ejemplo de transmisividad	57
Figura 2. 5 a) Tape en Manglaralto en época seca. b) Tape en Manglaralto en época de lluvia.	63
Figura 2. 6 Componentes principales de una albarrada. (Albarrada Las Coronas, Manabí)	64
Figura 2. 7 Zona de interfase agua dulce-agua salada en un acuífero costero. Flujo estacionario de agua dulce hacia el mar.	65
Figura 2. 8 Avance de la zona de interfase tierra adentro debido al bombeo excesivo.	66
Figura 2. 9 Contaminación por agua salada debido al bombeo excesivo. ...	67
Figura 2. 10 Sistema acuífero costero bajo condiciones naturales.	67
Figura 2. 11 Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales.	77
Figura 2. 12 Flujo de corriente en un medio homogéneo e isótropo.	78
Figura 2. 13 Líneas de corriente y superficies equipotenciales cercanas al electrodo A.....	79
Figura 2. 14 Flujo eléctrico en medio natural.	80
Figura 2. 15 Dispositivo Schlumberger.	81
Figura 2. 16 Dispositivo Wenner	81
Figura 2. 17 Dispositivos Dipolares.....	82

Figura 2. 18 Curva de resistividad aparente del terreno, modelo 1D calculado (electro capas)	84
Figura 3. 1 Mapa litológico estructural regional de la cuenca de Manglaralto	87
Figura 3. 2 Perfil geológico de la cuenca de Manglaralto.....	87
Figura 3. 3 Precipitación promedio anual. Periodo 1962 – 2015.....	100
Figura 3. 4 Precipitación promedio mensual. Periodo 2000-2015.....	100
Figura 3. 5 Precipitación anual promedio	101
Figura 3. 6 Temperatura anual promedio	102
Figura 3. 7 Mapa de evapotranspiración del Ecuador.....	103
Figura 3. 8 Subcuencas y orden de drenaje	104
Figura 3. 9 Perfil cuenca del río Manglaralto.....	106
Figura 3. 10 Perfil subcuenca del río Cadeate.	107
Figura 3. 11 Perfil subcuenca río Simón Bolívar	108
Figura 3. 12 Modelo digital de elevaciones y ubicación de pozos de la cuenca Manglaralto.....	110
Figura 3. 13 Mapa espesor unidad semiconfinante del aluvial de Manglaralto	111
Figura 3. 14 Mapa del espesor de la unidad acuífera de Manglaralto.....	112
Figura 3. 15 Variación temporal del nivel piezométrico en pozos de agua.	115
Figura 3. 16 Consumo de agua JAAPMAN.....	117

Figura 4. 1 Metodología empleada para la demarcación de zonas potenciales de aguas subterráneas.	120
Figura 4. 2 Mapa de litopermeabilidades	134
Figura 4. 3 Mapa usos y coberturas de suelos.....	134
Figura 4. 4 Mapa de pendientes.....	135
Figura 4. 5 Mapa de fallas.....	135
Figura 4. 6 Mapa de ríos	136
Figura 4. 7 Mapa de precipitaciones	137
Figura 4. 8 Mapa reclasificación litología.	140
Figura 4. 9 Mapa reclasificación LULC.	141
Figura 4. 10 Mapa reclasificación pendientes	142
Figura 4. 11 Mapa de reclasificación densidad de fallas	143
Figura 4. 12 Mapa de reclasificación de densidad de drenaje.	144
Figura 4. 13 Mapa de reclasificación frecuencia de drenaje	145
Figura 4. 14 Mapa reclasificación precipitaciones.....	146
Figura 4. 15 Resistivímetro TERRAMETER SAS 1000.....	153
Figura 4. 16 Procesamiento SEV MA-01, utilizando software IPI2WIN.....	154
Figura 4. 17 Realización SEVs subcuenca Manglaralto.....	155
Figura 4. 18 SEVS subcuenca del río Manglaralto.....	156
Figura 4. 19 Realización SEVs subcuenca Cadeate.....	159
Figura 4. 20 SEVs subcuenca río Cadeate.	159

Figura 4. 21 Realización SEVs subcuenca Simón Bolívar	161
Figura 4. 22 SEVs subcuenca río Simón Bolívar	162
Figura 5. 1 Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas. Factores condicionantes.....	170
Figura 5. 2 Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas.....	172
Figura 5. 3 Ubicación del perfil geoelectrico subcuenca Manglaralto.....	176
Figura 5. 4 Perfil geoelectrico subcuenca Manglaralto.....	176
Figura 5. 5 Mapa de isopiezas, subcuenca de Manglaralto	181
Figura 5. 6 Ubicación perfiles geoelectricos subcuenca de Cadeate.....	185
Figura 5. 7 Perfil geoelectrico A-B', subcuenca de Cadeate.	185
Figura 5. 8 Perfil geoelectrico A-A', subcuenca de Cadeate.	186
Figura 5. 9 Ubicación perfil A-A', subcuenca de Simón Bolívar.	191
Figura 5. 10 Perfil geoelectrico A-A', subcuenca Simón Bolívar	191
Figura 5. 11 Mapa piezométrico, subcuenca Simón Bolívar.	195
Figura 5. 12 Balance hídrico de suelo de la cuenca de Manglaralto	201

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Población aproximada de comunas adscritas a la Junta de Agua Potable Regional de Manglaralto.	34
Tabla II. Operacionalización de la hipótesis	48
Tabla III. Tipos de acuíferos	59
Tabla IV. Métodos geoelectrónicos más utilizados en Hidrogeología.....	74
Tabla V. Orden y frecuencia de drenaje de las subcuencas de la cuenca de Manglaralto.	105
Tabla VI.- Variación mensual y anual del consumo de agua subterránea..	116
Tabla VII. Unidades litológicas permeables por porosidad intergranular.	124
Tabla VIII. Unidades litológicas permeables por fisuración y karstificación.	125
Tabla IX. Unidades litológicas prácticamente sin agua subterránea explotable.	125
Tabla X. Clasificación LULC	127
Tabla XI. Clasificación pendientes.....	129
Tabla XII. Clasificación densidad de fallas.	130
Tabla XIII. Clasificación densidad de drenaje.....	131
Tabla XIV. Clasificación frecuencia de drenaje.	132

Tabla XV. Clasificación precipitaciones.	133
Tabla XVI. Valoración geología	139
Tabla XVII. Valoración usos y coberturas de suelos	140
Tabla XVIII. Valoración pendientes	141
Tabla XIX. Valoración densidad de fallas	142
Tabla XX. Valoración densidad de drenaje	143
Tabla XXI. Valoración frecuencia de drenaje	144
Tabla XXII. Valoración precipitaciones	145
Tabla XXIII. Valoración Saaty.....	148
Tabla XXIV. Ponderación de parámetros según “Jerarquización Analítica de Saaty”.	148
Tabla XXV. Tabla de resultados e interpretaciones del SEV MA-01	154
Tabla XXVI. Coordenadas SEVs subcuenca de Manglaralto	157
Tabla XXVII. SEVs subcuenca río Cadeate	160
Tabla XXVIII. SEVs subcuenca río Simón Bolívar.....	162
Tabla XXIX. Ubicación pozos subcuenca Manglaralto.	163
Tabla XXX. Ubicación pozos subcuenca río Simón Bolívar	164
Tabla XXXI. Inventario de pozos cuenca Manglaralto	165
Tabla XXXII. Cálculo de la ETP mensual mediante la fórmula de Thornthwaite.	168
Tabla XXXIII. Interpretaciones capas geoelectricas SEVs	175
Tabla XXXIV. Tabla niveles piezométricos pozos, Cuenca Manglaralto	181

Tabla XXXV. Niveles piezométricos de los SEVs realizados en la subcuenca de Manglaralto	182
Tabla XXXVI. Tabla Niveles Piezométricos SEVS Subcuenca Simón Bolívar.	196
Tabla XXXVII. Cálculo del Balance Hídrico del suelo.....	198
Tabla XXXVIII. Tabla de Resultados	201
Tabla XXXIX. Tiempo de Agotamiento de las reservas estimadas.....	203
.....	

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El agua es un elemento esencial para el desarrollo sostenible de un país ya que juega un papel importante en el desarrollo económico, social y humano. (PNUD, informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. 2016).

La escasez del agua actualmente, según las estadísticas del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2016) afecta a más del 40% de la población mundial, y se proyecta que esta cifra siga en aumento debido al incremento de la temperatura por el calentamiento global. A este ritmo se ha estimado también, que para el año 2050, una de cada cuatro personas se verá afectada por la falta de agua.

Existen dos tipos de escasez de agua, una es la escasez física que ocurre cuando no hay suficiente agua para satisfacer las necesidades básicas, y está asociada con las regiones áridas, y la escasez de agua económica que ocurre cuando una institución o un límite de capital financiero bloquea el acceso al agua incluso cuando el agua natural es indispensable para las necesidades humanas. El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWDR, 2016) elaboró un mapa de la escasez física y económica a nivel mundial (**Figura 1.1**)

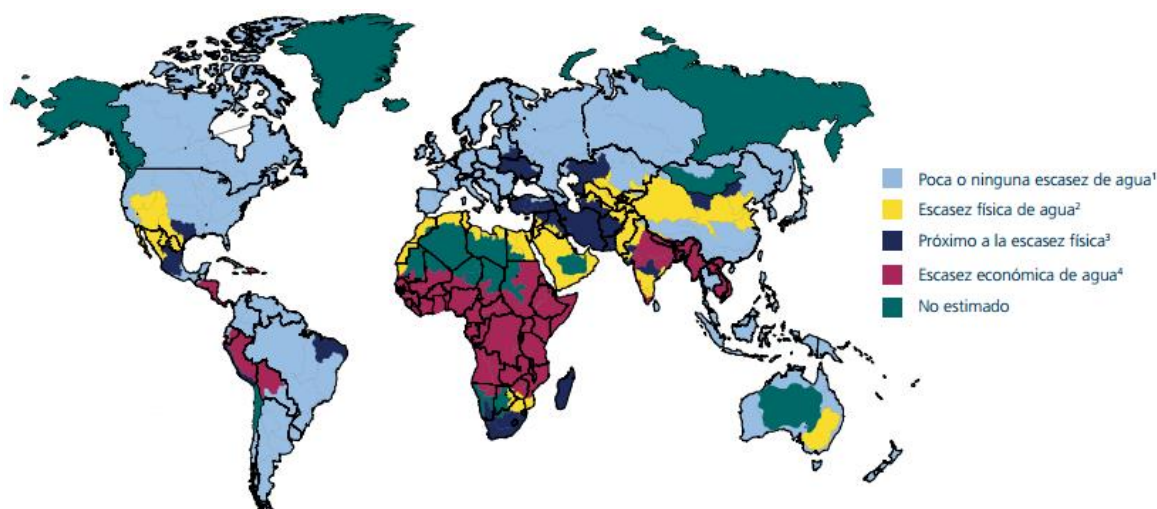


Figura 1.1 Mapa de la escasez física y económica a nivel mundial.
Fuente: WWDR, 2016.

Irónicamente los hogares pobres de los países en vías de desarrollo gastan una mayor proporción de sus ingresos en agua que los hogares de las familias de países industrializados. (FAO, FIDA y PMA. 2012)

Según el U.S. Geological Survey, (2016), sólo el 3% del agua del Planeta Tierra es dulce, de la cual el 77% se encuentra congelada en los casquetes polares, el 22% en aguas subterráneas y solo el 1% representan el agua de lagos, ríos y el agua de la atmósfera. El agua no solo se utiliza para cubrir las necesidades básicas del ser humano, sino también para la agricultura, ganadería y la industria. (**Figura 1.2**)

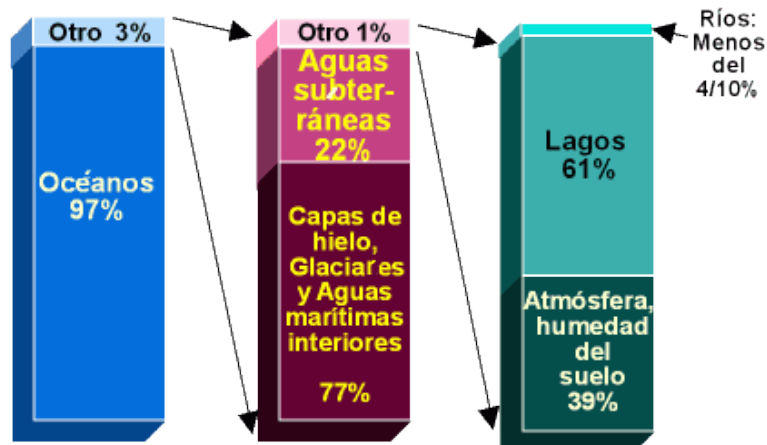


Figura 1.2 Distribución del agua de la Tierra
Fuente: Imagen tomada de USGS, 2016.

La escasez de agua no solo es un fenómeno natural, como se ha mencionado, sino es también en gran medida causado por la acción del ser humano, que no ha sabido distribuirla equitativamente. Existe suficiente cantidad de agua para abastecer a toda la población mundial, pero está mal distribuida, gestionada de forma insostenible, muchas veces es desperdiciada y fuertemente contaminada. (PNUD, 2006)

En el Ecuador, según el informe final del Diagnóstico de la Información Estadística del Agua realizado por la CEPAL (2012), la gestión del recurso hídrico y su administración, dentro del actual sistema de Gobierno, la realiza la Secretaría Nacional del Agua–SENAGUA, y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI, que es la principal entidad responsable de proveer información hidrometeorológica básica para la determinación del recurso de agua

superficial y subterránea. También existen otras entidades del sector público y privado que ofertan información sobre el estado, gestión y situación de los recursos hídricos en todo el país como son el Instituto Oceanográfico de la Armada–INOCAR y el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño-CIIFEN. El Ministerio de Salud Pública–MSP y el Ministerio del Ambiente–MAE colaboran con SENAGUA en estudios de la calidad y saneamiento del agua, mientras que la administración de las Juntas de Agua es realizada directamente por la SENAGUA. La **Figura 1.3** muestra un esquema de la administración del agua en Ecuador.

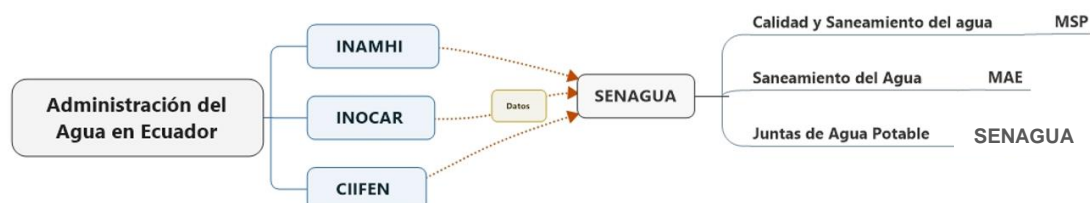


Figura 1.3 Esquema de la administración del agua en Ecuador.

Fuente: Valencia, J., 2017.

La península de Santa Elena (PSE), ubicada al oeste del Ecuador posee grandes problemas en la distribución del agua potable debido a la escasez física que cada vez va en aumento en la zona. Según datos actuales del INAMHI y del INOCAR, la PSE tiene una precipitación media anual por debajo de los 350 mm y valores altos de evapotranspiración potencial (1000–1200 mm/año) por lo que se la considera una zona de clima semiárido. Además esta zona ha sufrido

una deforestación debido a la tala indiscriminada de árboles por más de 100 años, lo que favorece aún más a la desertificación que avanza desde el centro hasta el noreste de la Península.

La cuenca del río Manglaralto se encuentra al norte de la península de Santa Elena, y en periodos invernales (temporada de lluvias) es la principal fuente de alimentación del acuífero de Manglaralto, del cual la Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN) por medio de 12 pozos perforados, abastece de agua a 7 poblaciones, como Montañita, Nueva Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar, que juntas están compuestas por alrededor de 17.000 personas. (Saeteros, 2014)

Algunas personas de esta zona utilizan el agua directamente de los ríos Manglaralto y Simón Bolívar en los meses lluviosos de enero a mayo, que es cuando tienen agua, o de tanqueros y pozos comunales construidos cercanos a estos ríos. La escasez de agua, especialmente en las épocas de sequía, en conjunto con la sobreexplotación produce descensos en el nivel freático y en los caudales de extracción lo que causa una salinización del acuífero debido a que se encuentra conectado con el agua del mar, provocando un deterioro en la cantidad y calidad del agua.

Actualmente la Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN), ha perforado 13 pozos, de los cuales 12 estaban operativos hasta finales del 2016. La producción se divide en dos partes: Montañita (capta agua de los pozos 9, 10, 11 y 12) y Manglaralto (capta agua de los 8 pozos restantes). Sin embargo, en el periodo 2000-2016 debido al aumento de la población (nativa y flotante) y a la escasez de lluvias (<400mm/año), se evidencia la influencia negativa en el balance hídrico general de esta cuenca, por lo que es necesario la realización de estudios hidrogeológicos, geofísicos y de balance hídrico para garantizar la sostenibilidad del acuífero aluvial de la cuenca del río Manglaralto.

Un sistema ancestral, para el abastecimiento de agua en la península de Santa Elena han sido las albarradas o jagüeyes que son humedales lénticos artificiales o reservorios de agua artificial, con muros de tierra bien definidos y con formas variadas como circulares, herradura o circular alargada (Quinteros, 2013). Estas albarradas representan un sistema de recarga del acuífero eficiente y económico, que almacena el agua precipitada en las temporadas lluviosas y las retiene en sus estructuras. Otro sistema implementado en la zona son los tapes o diques, que hasta finales del 2016, la JAAPMAN ha construido 9 tapes a lo largo de los 8 km del río Manglaralto, que

ayudan a conservar el agua que baja de la cordillera por el río y las aguas lluvias que se desperdician desembocando en el mar. Sin embargo debido a la escasez histórica de lluvias, estos diques no se han llenado por completo, pero sí han ayudado a la recarga del acuífero del río Manglaralto que es la principal fuente de agua para la parroquia del mismo nombre.

1.2. Ubicación del Proyecto

La provincia de Santa Elena está ubicada al oeste del Ecuador. Limita, al norte con la provincia de Manabí, al sur y al este con la provincia del Guayas y al oeste con el Océano Pacífico. Su superficie es de 3.668,9 km² y políticamente se divide en 3 cantones, Salinas, La Libertad y Santa Elena (**Figura 1.4**). El cantón Santa Elena está integrado por 7 parroquias; Manglaralto, Colonche, Simón Bolívar, Santa Elena, Chanduy, Atahualpa y San José de Ancón (**Figura 1.4**). Además de esta distribución política administrativa, algo característico del cantón Santa Elena es que además cuenta con una división territorial por comunas, dentro de las cuales se toman decisiones de manera autónoma, actualmente cuenta con 60 comunas y 137 recintos (CADS-ESPOL, 2013). El área de estudio se encuentra en las comunas que se encuentran sobre la cuenca del río Manglaralto, ubicada en la parte central de la parroquia Manglaralto. Esta cuenca hidrográfica limita al norte con la cuenca del río Olón (Ayampe) y al sur

por la cuenca del río Valdivia, (**Figura 1.4**). Según Amado, 1990, se ha dividido la cuenca de Manglaralto en cuenca baja y cuenca alta marcando el límite entre ambas, al poblado de Dos Mangas. La cuenca de Manglaralto se encuentra a su vez dividida, en 3 subcuencas principales; la del río Manglaralto, del río Cadeate y la subcuenca del río Simón Bolívar (**Figura 1.5**).

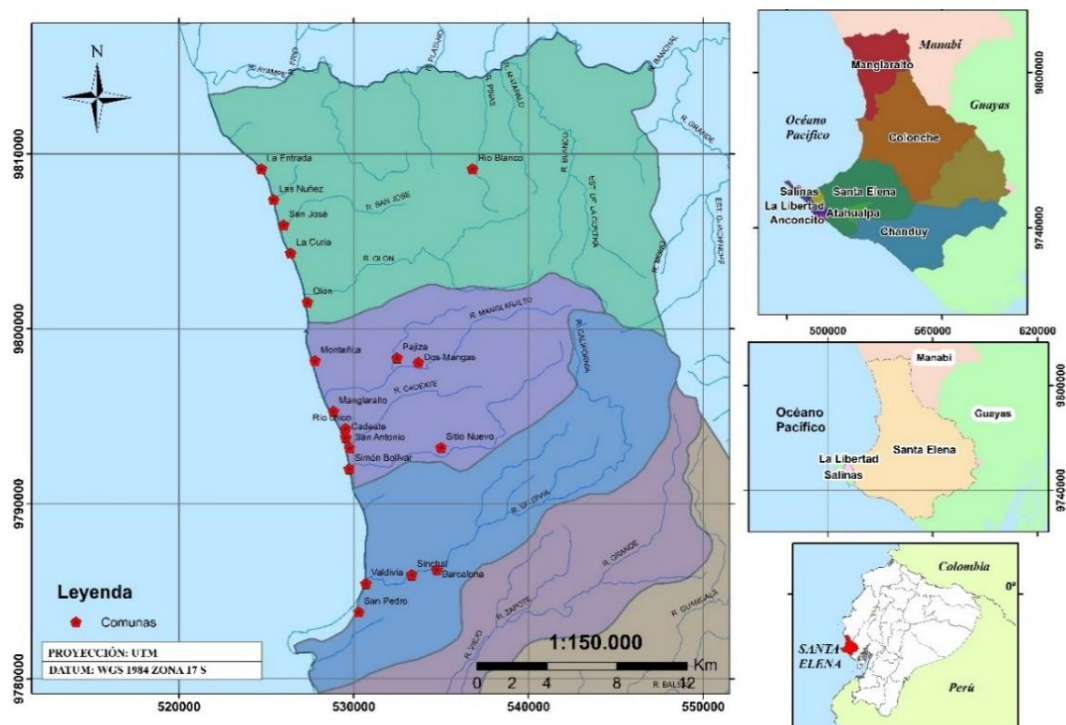


Figura 1.4 Ubicación regional de la parroquia Manglaralto y sus cuencas hidrográficas

Fuente: Modificado de MAGAP, 2002.

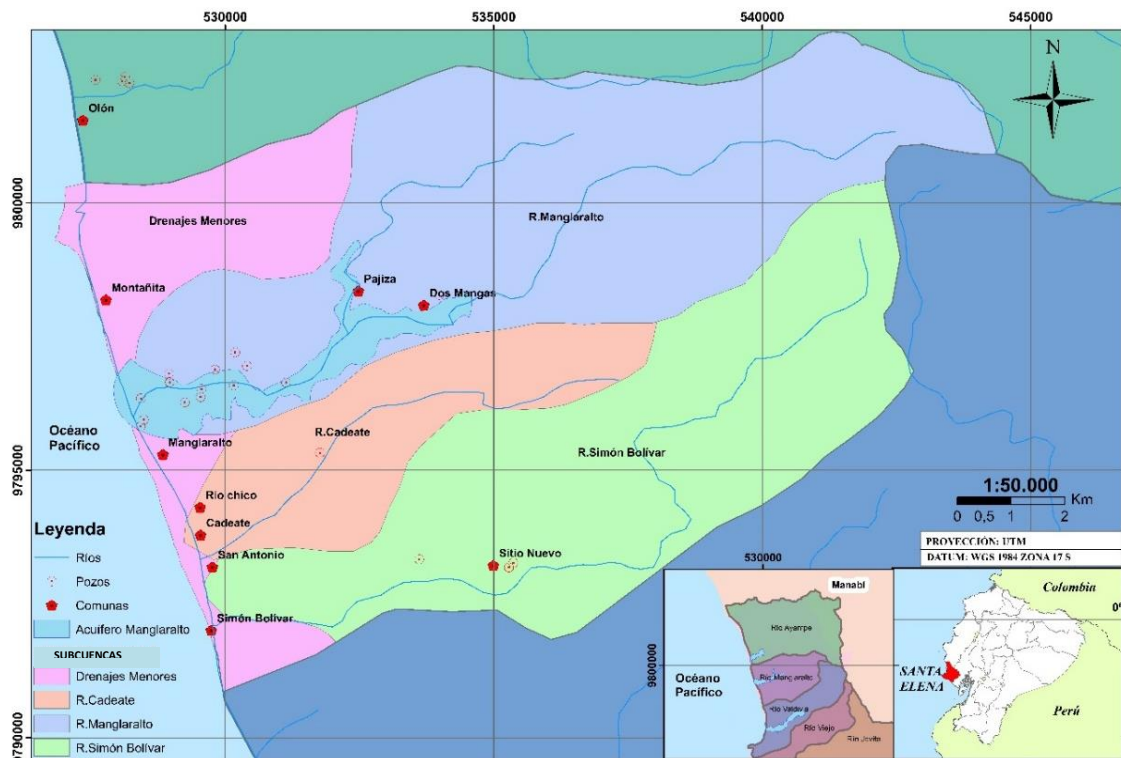


Figura 1.5 Ubicación local de las subcuencas de la cuenca del río Manglaralto.

Fuente: Modificado de MAGAP, 2002.

1.3. Datos Socioeconómicos

La Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN) abastece de este recurso a 6 comunas: Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar. La Junta ha proporcionado de agua a los habitantes de estas comunas a pesar de la demanda creciente, como se muestra en la **Tabla I**.

Tabla I. Población aproximada de comunas adscritas a la Junta de Agua Potable Regional de Manglaralto.

COMUNAS	2005	2010	2015
Montañita y Nueva Montañita	556	4.887	6.554
Manglaralto	655	5.760	7.225
Río Chico	42	367	492
Cadeate	201	1.765	2.367
San Antonio	220	1.936	2.596
Libertador Bolívar	327	2.872	3.852
TOTAL	2.000	17.587	23.586

Fuente: Herrera, G. 2015.

1.3.1. Población

La parroquia Manglaralto cuenta con 30,413 habitantes según el censo 2010, de los cuales 15.650 (51%) son hombres y 14.763 (49%) mujeres, como se muestra en la **Figura 1.6**. Sin embargo existe un flujo migratorio importante, especialmente en las comunas de Montañita y Olón en época de temporada playera.

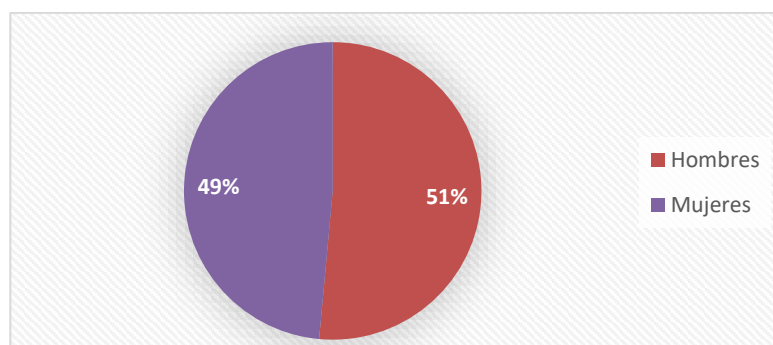


Figura 1.6 Distribución de la población por género de la parroquia Manglaralto

Fuente: Valencia, J., 2017., INEC, 2010.

1.3.2. Servicios Básicos

En este apartado se analizará solo la procedencia del agua potable que utilizan los habitantes de la parroquia Manglaralto. La **Figura 1.7**, elaborada a partir de los datos del Censo 2010, el 51% de los habitantes de la parroquia de Manglaralto obtienen el agua de pozos personales, mientras que solo el 42% de los hogares recibe el agua potable de la “Red Pública”, aunque este término es erróneo ya que no existe red pública en la parroquia Manglaralto sino que el sistema de agua potable lo gestionan tres Juntas de Agua, la Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN), la Junta Regional de Agua de Olón (JRAO) y la Junta de Agua Regional de Valdivia (JARV), que obtienen el agua de los acuíferos de los ríos Olón, Manglaralto y Valdivia, respectivamente.

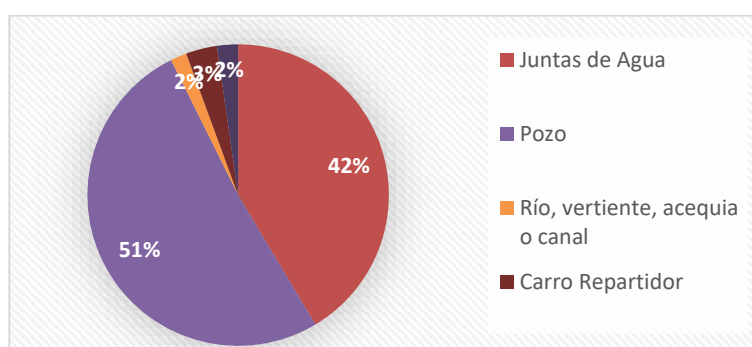


Figura 1.7 Procedencia principal del agua recibida en los hogares de la parroquia Manglaralto
Fuente: Valencia, J., 2017., INEC, 2010.

1.4. Planteamiento del Problema

El Ecuador ocupa el puesto 27 de los países con mayor oferta de agua en el mundo (Boggiano, 2013), debido a condiciones físico-climáticas de sus tres regiones naturales, Costa, Sierra y Oriente. La costa es una zona cálida y húmeda y posee lluvias crecientes de sur a norte, relacionadas con el Desierto Costero del Norte de Perú y con las lluvias abundantes de la frontera con Colombia. Los ríos Esmeraldas y Guayas tienen un aporte importante de los ríos de la Sierra, mientras que los ríos de la península de Santa Elena son estacionales. Sin embargo la costa ecuatoriana posee también importantes acuíferos especialmente en la cuenca baja del Guayas. El Oriente, por otra parte, es una zona con abundantes lluvias y posee el mayor potencial hídrico del país (88%), no obstante sólo contiene el 4% de la población nacional (CEPAL, 2012).

Según Campos et al. (2014) cada habitante de la vertiente pacífica del Ecuador tiene una disponibilidad anual de agua de 4.863,41 m³, y cada habitante de la vertiente Amazónica una disponibilidad de 172.786,36 m³ al año. Estos valores se encuentran dentro del rango propuesto por el Banco Mundial (1700 m³/hab/año), sin embargo se encuentra distribuida de una forma inequitativa e ineficiente, ya que en las temporadas secas, existe una fuerte escasez especialmente al sur de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena y en los valles interandinos,

debido a que sus ríos son estacionarios y no se alimentan en las épocas de sequía. (Calles, 2016)

En estas zonas de escasez, muchas veces el agua obtenida de acuíferos subterráneos es el único recurso accesible, debido a la ausencia de ríos superficiales.

La península de Santa Elena, ubicada en la provincia que lleva su mismo nombre, se encuentra en el extremo oeste de la costa ecuatoriana, es una de estas zonas caracterizadas y además presenta un clima árido-semiárido, debido a la combinación de varios factores entre ellos los más importantes son los valores de precipitación promedios anuales que están por debajo de los 350 mm según el INAMHI y los valores altos de evapotranspiración potencial (1000–1200 mm/año) calculados por el INAMHI, y los de evapotranspiración real (400 mm/año) calculados por Rojas (2010) a partir de datos del INAMHI para el periodo 1975-2007.

La provincia de Santa Elena, de donde se seleccionará el área de estudio, está dividida políticamente en 3 cantones que son Salinas, La Libertad y Santa Elena, los cuales a su vez se dividen en parroquias. La parroquia Manglaralto perteneciente al cantón Santa Elena está compuesta por tres cuencas hidrográficas, alrededor de las cuales se organizan la distribución del agua: la cuenca del río Ayampe, al norte;

Manglaralto en la parte central, y Valdivia al sur de la parroquia. Además se encuentra en la zona de piedemonte de la cordillera Chongón Colonche, que contiene el Bosque Protector Chongón Colonche que cubre alrededor del 40% del territorio de la parroquia (GADM, 2014).

Las parroquias a su vez están compuestas por asentamientos rurales de la provincia de Santa Elena, conocidos como comunas y están regidos por una Organización Comunal, que es la encargada de distribuir las diversas actividades que deben realizar los diferentes grupos específicos de trabajo, como por ejemplo las Juntas de Agua, quienes son las responsables de la distribución, control y cobro de este recurso hídrico. (Herrera, 2012).

La parroquia Manglaralto, según el GADM, (2016), posee 18 de estas comunas (La Entrada, San Francisco de las Nuñez, San José, Curia, Olón, Montañita, Dos Mangas, Manglaralto, Pajiza, Río Chico, Cadeate, San Antonio, Libertador Bolívar, Sitio Nuevo, Valdivia, San Pedro, Sinchal y Barcelona) distribuidas en tres Juntas de Agua, la Junta Administradora de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN), la Junta Regional de Agua de Olón (JRAO) y la Junta de Agua Regional de Valdivia (JARV), que obtienen el agua de los acuíferos de los ríos Olón, Manglaralto y Valdivia, respectivamente, **Figura 1.8 y Figura 1.9.**



Figura 1.8 Mapa de los acuíferos de la parroquia Manglaralto
Fuente: Modificado de CIPAT-SENAGUA-AECID, 2014.



Figura 1.9 Esquema de la procedencia de agua potable en las comunas de Manglaralto

Fuente: Valencia, J., 2017.

De las 18 comunas de la parroquia Manglaralto (Suárez, 2015), seis de ellas (Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar) que representan cerca de 23 mil personas (Herrera, 2015), están suscritas a la Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto que es la encargada, por medio de 12 pozos perforados y activos hasta finales del 2016, en el Acuífero del río

Manglaralto, de abastecer de agua a estas 6 comunas. Mientras que la Junta Regional de Agua de Olón abastece por medio de 7 pozos (solo 3 activos) a cinco comunas (Olón, Curia, San José, La Núñez y la Entrada) (Montalván, 2008). Las comunas de Valdivia, Sinchal, Barcelona y San Pedro se abastecen de agua a través de la Junta de Agua Regional de Valdivia que además también proporciona de este recurso a Carrizal, comuna de la parroquia vecina de Colonche. Sin embargo quedan 3 comunas que no son beneficiadas directamente por las Juntas de Agua como son (Dos Mangas, Sitio Nuevo y Pajiza). Los habitantes de Pajiza, gracias a la Fundación Pro Pueblo (Salazar, 2015) se abastecen de agua mediante la absorción por medio de una bomba de los pozos cercanos a los ríos Grande y Chico. En Dos Mangas los habitantes han formado una Junta de Agua propia que obtienen el agua por medio de un pozo informal de 7 metros de profundidad, donde para su consumo solamente le realizan un pequeño tratamiento con cloro (González, 2013). La comuna Sitio Nuevo, solo posee “agua entubada” de un pozo artesanal de la Junta de Agua de Sitio Nuevo, lo que produce por su uso inadecuado, muchas enfermedades. (Domínguez, 2014)

Según el último censo realizado en el 2010, solo el 42% de la población de la parroquia Manglaralto se abastece de agua por medio de las Juntas de Agua y el resto tiene que hacerlo mediante pozos

clandestinos, carros repartidores y albarradas. Esto trae consigo muchas enfermedades relacionadas con el agua, y este problema es incluso mayor en las comunas de Pajiza, Dos Mangas y Sitio Nuevo, que irónicamente se encuentran sobre el acuífero de Manglaralto.

Otro factor importante a considerar es que la parroquia Manglaralto, especialmente las comunas de Manglaralto y Montañita, como se muestra en la **Figura 1.10**, son muy frecuentadas por turistas (población flotante) especialmente en los meses de enero, febrero, marzo, abril (temporada playera) y agosto (vacaciones periodo Sierra), los cuales aumentan la demanda de este recurso llegando incluso a triplicar la tasa de consumo de agua que mantiene en las temporadas bajas de turismo (Saeteros, 2014), lo que implica una sobreexplotación del acuífero justo en los meses donde, en condiciones normales, existen la mayor cantidad de precipitaciones que recargan el acuífero.

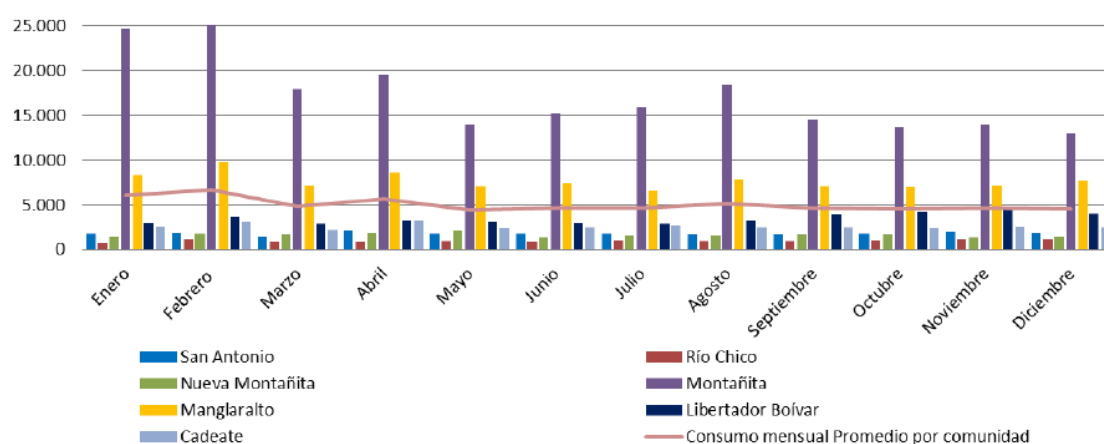


Figura 1.10 Diagrama de barras del consumo mensual por comunas.

Fuente: Saeteros, M., 2014.

La falta de recarga del acuífero del río Manglaralto, debido a la escasez de lluvias, permite que se realice una explotación descontrolada del volumen de agua del Acuífero de Manglaralto, que no garantiza un adecuado balance hídrico de la cuenca, que ha producido descensos en el nivel freático y en los caudales de explotación, lo que podría provocar una contaminación por salinización del acuífero debido a que este se encuentra conectado con el agua salada del mar, provocando un deterioro en la cantidad y calidad del agua (Merino, 2014).

Los pobladores organizados por la JAAPMAN tienen acceso al agua potable mediante una tubería instalada en sus casas que ha sido trasladada desde la planta de tratamiento que contiene el tanque de almacenamiento que capta el agua de los pozos perforados con una red de distribución para el consumo humano (Endara, 2014). Ante la escasez de lluvias en el periodo 2000-2016, en la zona, y al hecho de que cerca del 50% de la población de las comunas de la parroquia Manglaralto se abastecen del agua proveniente de pozos informales, es necesario realizar estudios de prospección y exploración de aguas subterráneas en las subcuencas del río Manglaralto, como otra alternativa a la solución propuesta a la JAAPMAN con la construcción de 9 tapes a lo largo de los 8 km del río Manglaralto que como ya se

anotó en vista de la escasez histórica de aguas lluvias ha resultado poco eficiente.

Para ello se realizará un estudio del balance hídrico de la cuenca del río Manglaralto a detalle, para cuantificar los flujos de entrada y salida de la cuenca espacial y temporalmente con el fin de relacionarlo con la demanda actual de agua de los pobladores de las comunas de la parroquia Manglaralto que se encuentran sobre la cuenca del mismo nombre, y la factibilidad de identificar otros acuíferos en las subcuencas del río Manglaralto, con la finalidad de mantener un adecuado balance hídrico en la cuenca.

Mediante la caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Manglaralto, ¿es posible responder a la demanda de agua para consumo de las personas que viven en dicha cuenca?

¿Qué subcuencas de la cuenca del río Manglaralto podrían tener acuíferos explotables con la finalidad de que el acuífero principal de Manglaralto no se descargue y se mantenga el balance hídrico de toda la cuenca?

1.5. Justificación

Según estadísticas de los objetivos del Milenio de las Naciones Unidas, 2015, la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se proyecta que todavía aumente. Además indica que esta escasez impide la sostenibilidad de los recursos naturales así como también el desarrollo económico y social de un país.

El Objetivo general del capítulo 18 de la Agenda 21 de las Naciones Unidas sobre la protección y el suministro de los recursos de agua dulce, es velar porque se mantenga un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población del planeta y preservar al mismo tiempo las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las capacidades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatiendo los vectores de las enfermedades relacionadas con el agua. En otras palabras garantizar el abastecimiento de este recurso de buena calidad a toda la población de una manera sostenible con el medio ambiente.

En el Ecuador, la Constitución del 2008, en los derechos del Buen Vivir o “Sumak Kawsay”, capítulo 12, garantiza el derecho humano al agua y dice que es fundamental e irrenunciable y que constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

También el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2014, publicado en el 2009, en su cuarto eje fundamental, considera al agua como un derecho y un patrimonio nacional, al cual todos los ecuatorianos deben tener acceso, y que por tanto es una obligación conjunta del Estado y de la población mantener, distribuir, aprovechar y garantizar su uso responsable, con justicia distributiva y calidad ambiental.

Las juntas administradoras de agua potable según el artículo 43, de la sexta sección de la Ley de Aguas del Ecuador (2014), son asociaciones comunitarias encargadas de prestar el servicio público de agua potable, sin fines de lucro.

En la provincia de Santa Elena el abastecimiento del agua lo administra la empresa pública AGUAPEN E.P. en los tres municipios de la provincia. Sin embargo su cobertura no abarca la parroquia Manglaralto, de ella se encarga la Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN) que mediante 12 pozos perforados sólo abastece de agua por tubería al 42% de la población de la parroquia, el resto de la población adquiere agua de pozos clandestinos, carros repartidores, canales, albarradas entre otros, asumiendo las consecuencias en su salud que esto conlleva.

Uno de los problemas del déficit de agua en la parroquia de Manglaralto es el bajo caudal debido a la escasez histórica de lluvias

en la zona. Además existe preocupación porque los pozos bajan cada vez más su nivel, aumentando el peligro de salinización del agua debido a su cercanía con el agua de mar.

Según todo lo anterior se justifica realizar estudios de prospección y exploración de aguas subterráneas en las subcuencas del río Manglaralto como alternativa de solución ante el déficit de agua de la zona clasificada como semidesértica, debido a que el porcentaje de evapotranspiración potencial es mayor que las precipitaciones.

Para ello, en el presente trabajo, se realizará un estudio hidrogeológico y geofísico para identificar otros acuíferos en las subcuencas de la cuenca del río Manglaralto, y se realizará un cálculo general del balance hídrico del suelo, para cuantificar los flujos de entrada y salida con el fin de relacionarlo con la demanda actual de agua de las comunas de la parroquia Manglaralto que se encuentran sobre la cuenca del mismo nombre.

1.6. Hipótesis y su operacionalización

Mediante la caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Manglaralto, se puede responder a la demanda de agua para consumo de las personas que viven en dicha cuenca.

Tabla II. Operacionalización de la hipótesis

HIPOTESIS	VARIABLES X y Y	LINEAMIENTOS DE INDICADORES
Mediante la caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Manglaralto, se puede responder a la demanda de agua para consumo de las personas que viven en dicha cuenca	X: Caracterización hidrogeológica Y: Consumo de agua de la población	X₁: Zonas susceptibles a la formación de acuíferos. X₂: Delimitación de las capas geoelectricas permeables. X₃: Cálculo del volumen subterráneo del acuífero. Y₁: Consumo anual de agua de la población.

Fuente: Valencia, J., 2017.

1.7. Objetivos

1.7.1. General

- ✓ Analizar hidrogeológicamente la cuenca del río Manglaralto a través de técnicas de análisis espacial y métodos geofísicos eléctricos para la localización de acuíferos adicionales al acuífero principal de Manglaralto y su utilización para el consumo humano.

1.7.2. Específicos

- ✓ Seleccionar parámetros hidrogeológicos mediante el análisis de las condiciones del terreno para la delimitación de las zonas con potencial de aguas subterráneas.
- ✓ Caracterizar los acuíferos de las subcuencas del río Manglaralto mediante los criterios hidrogeológicos y geofísicos para la identificación, tipología y cálculo del volumen de agua disponible para el consumo humano.
- ✓ Estimar la demanda de agua de la población de la zona de estudio mediante el tratamiento de datos históricos de consumo y su relación con el balance hídrico del suelo de la cuenca para su comparación con la capacidad del acuífero realizada en este estudio.

1.8. Metodología General

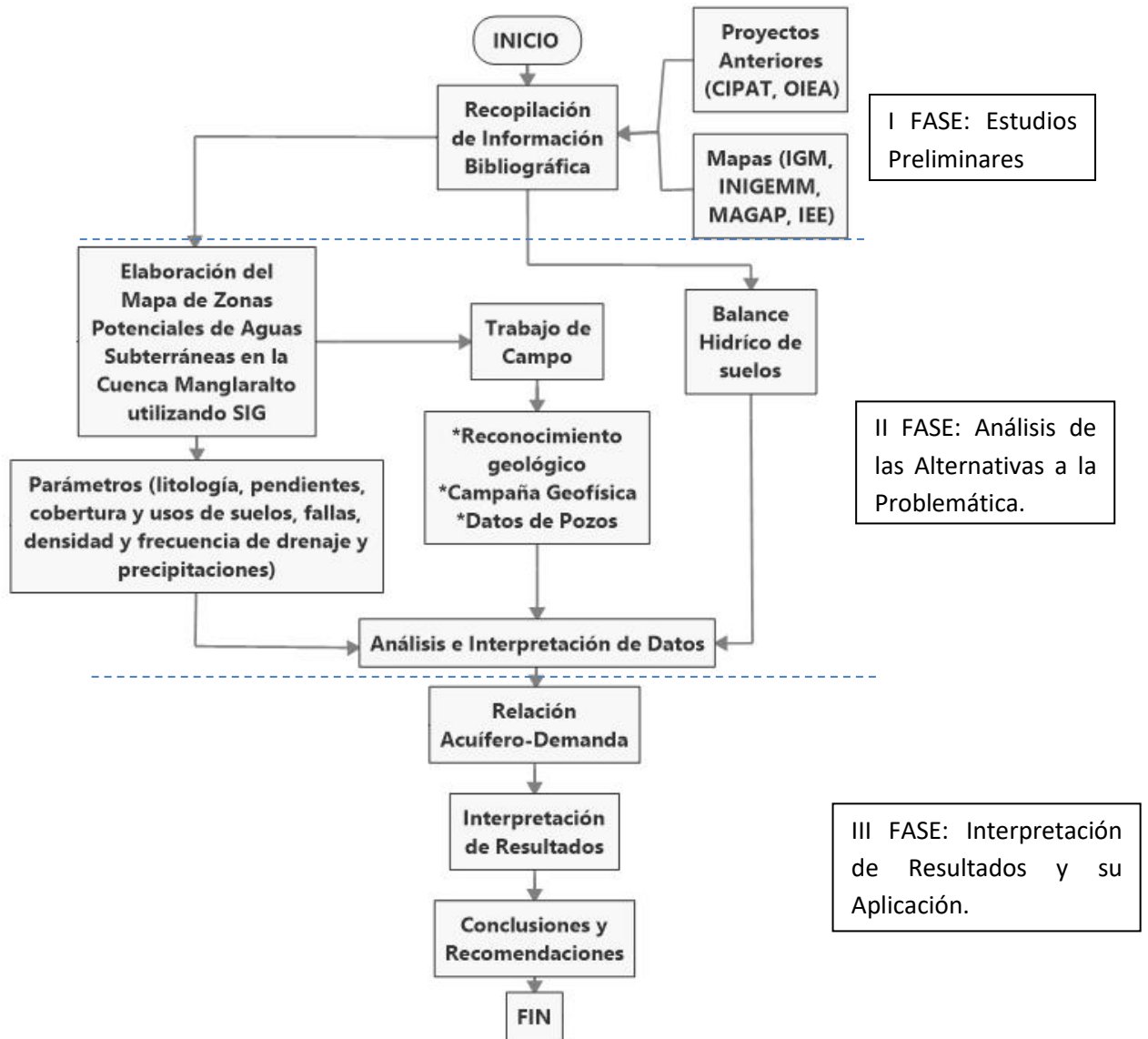


Figura 1.11 Metodología propuesta para la presente investigación.

Fuente: Valencia, J., 2017.

1.8.1. Primera Fase: Estudios Preliminares

En esta fase se realiza una recopilación de toda la información relacionada con los recursos hídricos en el mundo y en el Ecuador.

Bases de datos socioeconómicos del INEC y de la JAAPMAN y datos de series históricas del INHAMI e INOCAR, para la realización de gráficos estadísticos e información general que ayuden a captar mejor los diferentes aspectos de la problemática de la zona de estudio.

Casos de estudios similares relacionados con los temas de balance hídrico, identificación de zonas potenciales de aguas subterráneas, recarga de acuíferos, prospección geoeléctrica de acuíferos, entre otros.

Obtención de mapas de precipitaciones, evapotranspiración, litología, topográficos, hidrográficos y de usos y coberturas de suelos a partir de la cartografía base del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM), Instituto Geográfico Militar (IGM), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP) y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

Con toda esta información se realizará una evaluación completa de la zona de estudio con la finalidad de establecer la problemática existente, con respecto a la escasez de agua en la parroquia de Manglaralto, y proponer las estrategias de solución.

1.8.2. Segunda Fase: Análisis de Alternativas a la Problemática

En esta fase se lleva a cabo la elaboración del mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas a partir de los parámetros obtenidos en la fase anterior.

Luego se lleva a cabo la fase de campo en las zonas marcadas como potenciales, para la descripción de las características geológicas del terreno, toma de datos en los pozos existentes y datos de resistividades a partir de la campaña geofísica de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs) para la corroboración del mapa elaborado.

Se realizará un mapa final de las zonas potenciales de aguas subterráneas, y se realizará el balance hídrico de la cuenca, estimando las recargas y descargas, y proyectando la cantidad de personas que podrían abastecerse de agua en los acuíferos caracterizados.

1.8.3. Tercera Fase: Interpretación de Resultados y su Aplicación

Esta fase comprende el análisis e interpretación de los datos obtenidos en campo, estimar las reservas de aguas subterráneas en las subcuencuas del río Manglaralto, compararlo con las reservas del acuífero de Manglaralto, estimar la demanda de agua de la población nativa y flotante, ubicar las zonas favorables para la construcción de tapes y albardas, proponer esta alternativa de solución a la JAAPMAN y concluir con esto el proyecto de Tesis.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos Básicos de Hidrogeología

2.1.1. Ciclo Hidrológico

El Ciclo Hidrológico (**Figura 2. 1**) es el movimiento ascendente del agua de manera general, debido a la evaporación y evapotranspiración, y descendente por las precipitaciones o en forma de escorrentía superficial y subterránea. (Sánchez, 2015).

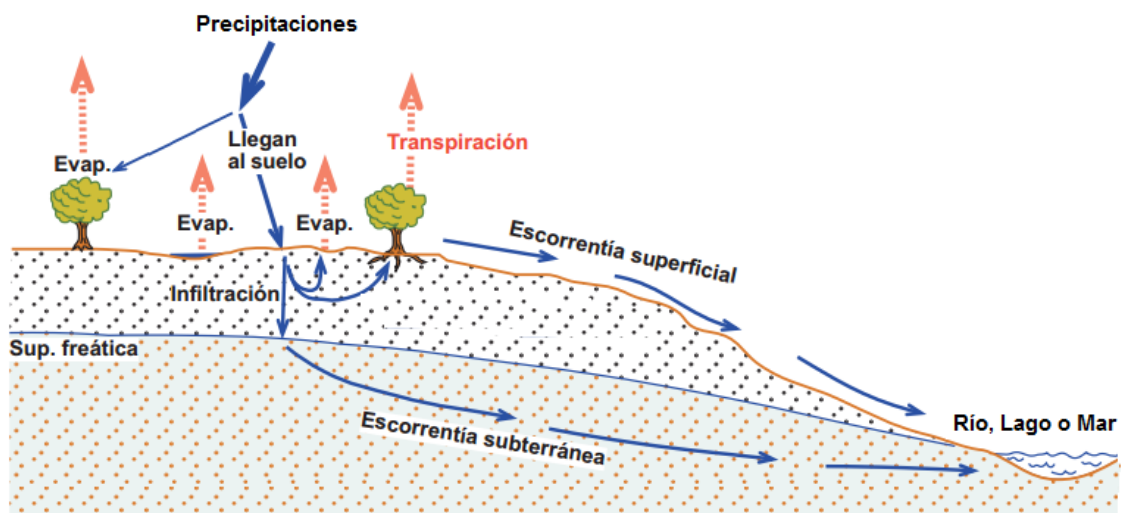


Figura 2. 1 Ciclo hidrológico.

Fuente: Modificado de Sánchez, F., 2015.

2.1.2. Factores que influyen en el almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas.

Porosidad Total (m_t): Es la cantidad de espacios vacíos o poros que contiene una roca. Es adimensional y puede ser expresada en porcentaje o en tanto por 1. Viene dada por la siguiente ecuación:

$$m_t = \text{Volumen de huecos} / \text{volumen total}$$

Porosidad Eficaz (m_e): Volumen de poros que se han vaciado en una roca, o volumen de huecos disponibles para el flujo respecto al volumen total. Se expresa también en porcentaje o en tanto por 1, y es adimensional. Viene dada por la siguiente ecuación:

$$m_e = \text{Volumen de agua drenada por gravedad} / \text{volumen total}$$

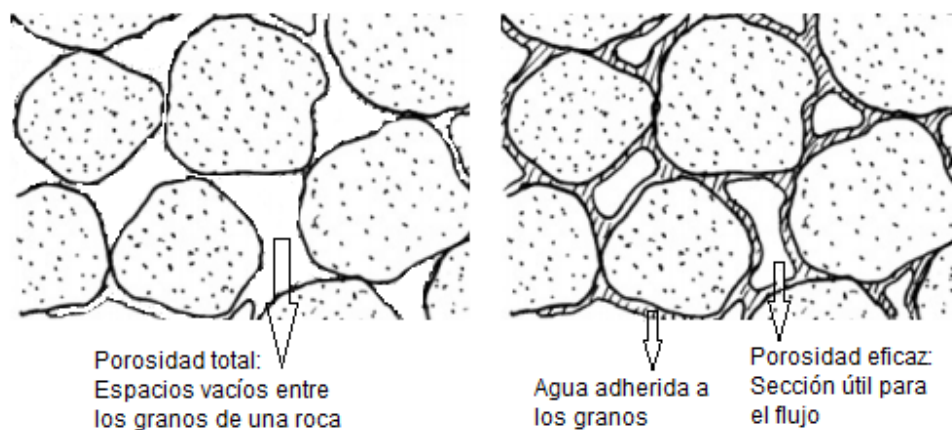


Figura 2. 2 Porosidad total y eficaz.
Fuente: Modificado de Sánchez, F., 2015.

Permeabilidad: Es la capacidad que tienen los cuerpos de ser atravesados por un fluido, en este caso el agua. En Hidrogeología se la conoce como conductividad hidráulica (K), y es la constante de proporcionalidad entre el caudal que atraviesa perpendicularmente el medio poroso una sección

determinada y su gradiente hidráulico. Viene dada por la Ley de Darcy: Caudal por unidad de sección = $K \cdot$ gradiente hidráulico

$$\frac{\text{Caudal (m}^3/\text{día)}}{\text{Sección (m}^2)} = K \cdot \frac{\Delta h \text{ (m.)}}{\Delta l \text{ (m.)}}$$

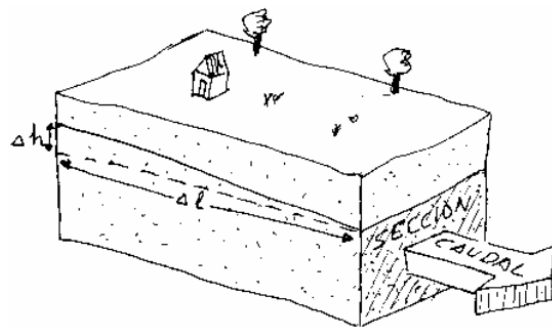


Figura 2. 3 Ley de Darcy.
Fuente: Sánchez, F., 2015.

Transmisividad: Es la propiedad de una formación geológica que permite que el agua circule horizontalmente fácilmente. Depende de la conductividad hidráulica y del espesor.

$$\text{Transmisividad} = \text{Conductividad hidráulica} \cdot \text{Espesor}$$

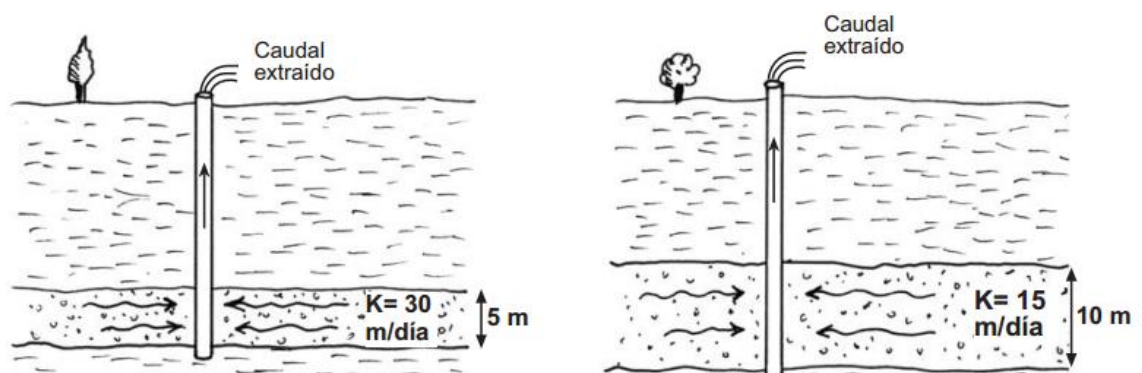


Figura 2. 4 Ejemplo de transmisividad
Fuente: Sánchez, F., 2015.

En la **Figura 2. 4**, se observa que ambos casos tienen la misma transmisividad pero conductividad hidráulica del derecho es la mitad que la del izquierdo, sin embargo su espesor es el doble.

Coefficiente de Almacenamiento (S): Indica el agua que fluye o que es liberada al disminuir la presión a la que se encuentra el acuífero. Representa la misma cantidad adimensional que la porosidad eficaz en un acuífero libre, ya que el agua que fluye es el agua de vaciado, mientras que representa una cantidad menor a la porosidad eficaz en un acuífero confinado porque el agua que fluye es por descompresión en lugar de vaciado, y por tanto depende del espesor geológico del acuífero.

$$S = \frac{\text{Volumen de agua liberado}}{\text{Volumen total que ha bajado la superficie piezométrica}}$$

Los valores más comunes de coeficiente de almacenamiento según Sánchez (2015), son:

Acuíferos libres (porosidad eficaz): 0,3 - 0,01

Acuíferos semiconfinados (coef. de almacenamiento): 10^{-3} - 10^{-4}

Acuíferos confinados (coef. de almacenamiento): 10^{-4} - 10^{-5}

2.1.3. Tipos de Acuíferos

Un acuífero es un terreno permeable capaz de almacenar y dejar circular el agua. La **Tabla III** muestra la clasificación de los acuíferos:

Tabla III. Tipos de acuíferos

Criterio de Clasificación	Tipos	Características
Según el tipo de materiales que los constituyen	Porosos	El agua fluye a través de los espacios vacíos o poros entre los granos del terreno.
	Fisurados o karstificados	El agua circula por medio de las fisuras, fracturas y oquedades del terreno, producidas por fallas, diaclasas o disolución.
Según el grado de presión a la que se encuentra el agua saturando los poros o fisuras de la roca	Libres	Son aquellos cuya superficie freática se encuentra a presión atmosférica es decir que su límite superior se encuentra en contacto con el aire de la zona.
	Confinados	Son aquellos cuyo límite superior se encuentra a una presión superior a la atmosférica. Se encuentra bajo una capa impermeable que comprime el agua. Lo que produce que al perforarlo el agua ascienda en algunos casos varios metros.
	Semiconfinados	Son también acuíferos a presión, cuyas capas confinantes son semipermeables y permiten filtraciones o fugas. A estas capas se las conoce como acuitardos.
Según su ubicación geográfica	Costeros	Se encuentran en las zonas litorales o costeras en contacto hidráulico con el mar, y por tanto se encuentran invadidos de agua salada.
	Interiores o Continentales	No tienen ningún contacto con el agua de mar. La mayoría están relacionados hidráulicamente con ríos, lagos, etc.

Fuente: IGME, Sánchez, F., 2015.

2.1.4. Balance hídrico en una cuenca

El balance hídrico de un acuífero o de un sistema acuífero (conjunto de acuíferos que se consideran conjuntamente) viene dado por la siguiente ecuación general:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \text{D almacenamiento}$$

Pero a diferencia del balance hídrico de una cuenca como unidad, se consideran las entradas y salidas de agua desde y hacia otros acuíferos, infiltración o recarga artificial, bombeo, salidas o cauces al mar, etc. (Sánchez, 2015).

$$\begin{aligned} \text{Precipitación} + (\text{Aguas de otras cuencas}) &= \text{ET} + \text{Esc. Sup.} + \\ &\text{Esc. Subt.} + (\text{Agua de otras cuencas}) \pm \text{D almac.} \end{aligned}$$

Entradas:

Precipitación: Cualquier agua meteórica que cae sobre la superficie terrestre. Incluye agua, nieve y granizo.

Salidas:

Evapotranspiración: Es la cantidad de agua evaporada desde el suelo y la transpirada por las plantas. Si esta se da en las condiciones óptimas de humedad del suelo y de la cobertura vegetal se conoce como Evapotranspiración Potencial (ETP).

Caso contrario se conoce como evapotranspiración real (ETR) a la que se produce bajo las condiciones específicas de cada lugar.

Escorrentía superficial: Es la parte de agua lluvia que se transporta o fluye sobre el suelo a favor de la pendiente del terreno, y llega hasta los barrancos, arroyos y ríos.

Escorrentía subterránea: Es el agua de las lluvias que no discurre por el terreno ni es evapotranspirada por las plantas, sino que se infiltra en el suelo, hasta una capa impermeable donde se acumula, satura los poros de las rocas donde se encuentra y empieza a circular lentamente por las capas del subsuelo hasta reaparecer nuevamente en la superficie de la tierra a través de manantiales, ríos o directamente hacia el mar.

2.1.5. Recarga artificial de Acuíferos

Según el IGME la recarga artificial de un acuífero se puede realizar en cualquier zona cuyas características litológicas permitan almacenar y transmitir el agua, como los depósitos aluviales, dunas y arenas litorales y materiales volcánicos fisurados, entre otros.

El agua que servirá para la recarga artificial puede provenir de tres tipos de fuentes:

- Agua superficial continua (ríos) o discontinua (precipitaciones)
- Agua residual doméstica o industrial
- Agua procedente de otro acuífero cercano

La recarga superficial de un acuífero se la puede realizar almacenando agua en una gran superficie del terreno permeable, y se emplean principalmente en acuíferos libres que permitan la llegada del agua desde la superficie.

En la península de Santa Elena desde tiempos prehispánicos los comuneros de la zona han desarrollado dos principales sistemas de recarga natural conocidos como tapes y albarradas que permitieron y permiten el acceso, el aprovechamiento y la recarga de las capas freáticas especialmente en épocas de sequía.

Los comuneros llaman a los diques naturales como tapes, que son otro sistema de recarga, que permite que el agua se infiltre en el subsuelo hasta los acuíferos subterráneos mediante la acumulación de agua superficial. Se construyen cavando un hueco perpendicular a la dirección del cauce del río taponando temporalmente su curso normal, de manera que cuando la

corriente es alta se reduce la velocidad de escorrentía con la finalidad de que el agua permanezca más tiempo, y a menos escorrentía mayor será la infiltración. Así mismo cuando la intensidad de la corriente sea baja, el agua se acumulará en la presa aumentando también su infiltración en el suelo alimentando así las aguas subterráneas. (Carrión & Montalván, 2016). La **Figura 2. 5** muestra un tape de Manglaralto durante la época seca (a) y en la época lluviosa (b).



Figura 2. 5 a) Tape en Manglaralto en época seca. **b)** Tape en Manglaralto en época de lluvia.

Fuente: Carrión, P., Montalván, F., 2016.

Las albarradas o jagüeyes son estructuras hidráulicas naturales, construidas por los comuneros de la zona, destinadas al control y captación de la escorrentía superficial producida por las aguas lluvias para conservarla para su consumo y para recarga de los acuíferos subterráneos, en zonas con largos periodos de sequía. (Álvarez et, al., 2015).

El funcionamiento de las albardadas se basa en recargar el acuífero libre superior de las formaciones geológicas de las zonas permeables y semipermeables, para luego extraer el agua de la napa freática por medio de los pozos poco profundos o someros.

En su estructura está compuesta, como se muestra en la **Figura 2. 6**, de un muro de tierra formado con suelos arcillosos compactados, que es el que contiene el agua; un vaso para retener y contener el agua de lluvia y la escorrentía; un canal de entrada del agua que orienta el agua hacia el vaso; y un área de desfogue que sirve para liberar el agua excedente y evitar su presión sobre los muros. (Álvarez et, al., 2015).



Figura 2. 6 Componentes principales de una albardada. (Albardada Las Coronas, Manabí)
Fuente: Álvarez et, al., 2015.

2.1.6. Intrusión Salina

Según el IGME, (2015), un acuífero libre costero en condiciones naturales posee una cuña de agua salada que se intruye tierra adentro, por debajo del agua dulce y se forma al contacto del agua marina (más densa) con el agua dulce (menos densa). En el contacto superior de la cuña de agua salada con el agua dulce se encuentra una zona de interfase compuesta por agua salobre. **Figura 2. 7.**

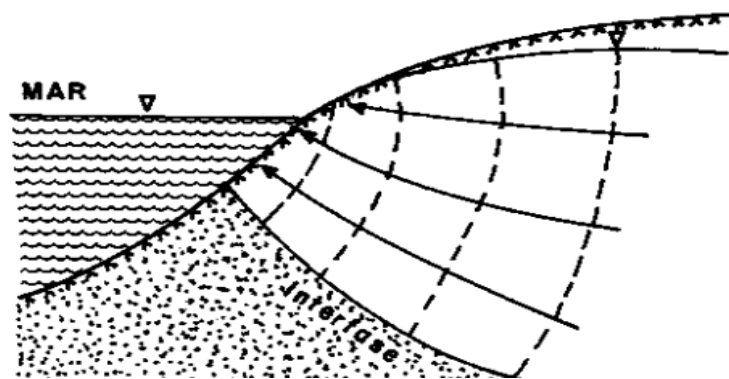


Figura 2. 7 Zona de interfase agua dulce-agua salada en un acuífero costero. Flujo estacionario de agua dulce hacia el mar.

Fuente: IGME, 2015.

Esta zona de interface se mueve en la medida que varían las presiones de cada sistema. Normalmente el agua de mar permanece estacionaria y el agua dulce fluye en dirección al mar. La penetración de la cuña de agua salada varía directamente con la permeabilidad y el espesor del acuífero e

inversamente con la magnitud del flujo de agua dulce hacia el mar. Por tanto si este flujo disminuye debido a una sobreexplotación del acuífero desde la superficie por un excesivo bombeo, la cuña de agua salada invadirá lentamente el acuífero rellenándolo hasta que este alcance el nivel del mar (**Figura 2. 8**). Esto tiene consecuencias negativas ya que según el IGME, (2015) es suficiente un 2% de agua marina para provocar problema en la potabilidad del agua dulce, y solo un 5% de agua salada es suficiente para que a esa agua dulce no se le pueda dar ninguno de sus usos.

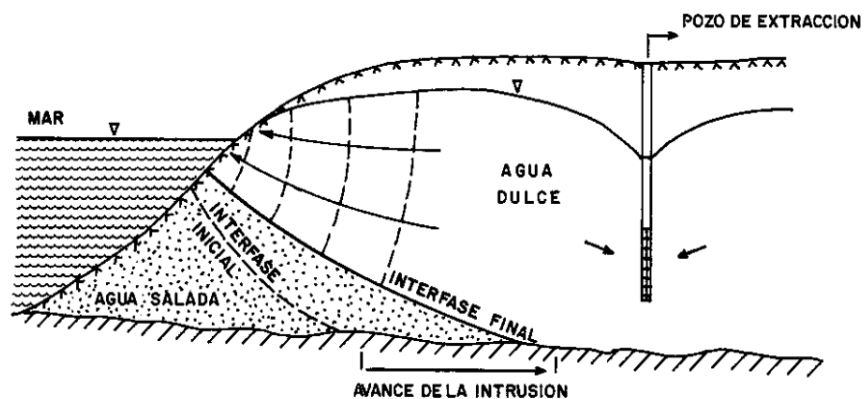


Figura 2. 8 Avance de la zona de interfase tierra adentro debido al bombeo excesivo.

Fuente: IGME, 2015.

Si este bombeo excesivo continúa, se puede producir un domo salino, es decir un hinchamiento de la zona de interfase, produciendo que el agua que capte el pozo de bombeo sea directamente agua salada. **Figura 2. 9**

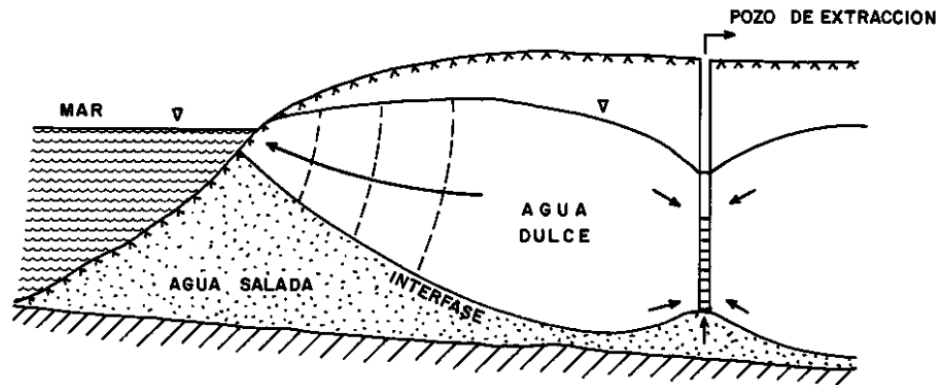


Figura 2. 9 Contaminación por agua salada debido al bombeo excesivo.

Fuente: IGME, 2015.

La fórmula de Ghyben-Herzberg estima la profundidad teórica del contacto entre el agua dulce y el agua salada para un acuífero monocapa, según la fórmula: $Z = 40H$, donde Z es la profundidad del agua salada y H representa el nivel piezométrico del agua dulce en un piezómetro abierto en ella.

Figura 2. 10

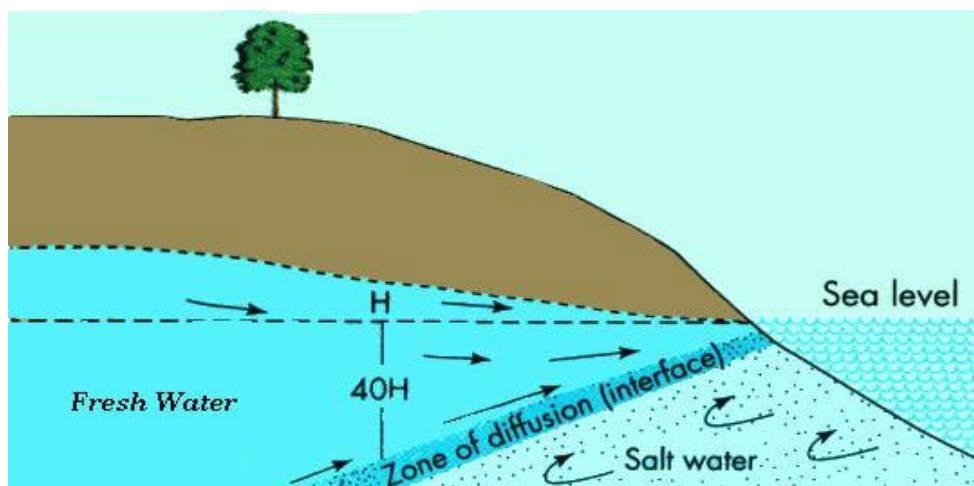


Figura 2. 10 Sistema acuífero costero bajo condiciones naturales.

Fuente: Keller, E., 1942.

2.2. Exploración Hidrogeológica

Según Martín-Loeches et, al. (2015) la fase inicial de cualquier estudio hidrogeológico requiere de una cartografía geomorfológica en dónde se señalen las áreas favorables a la infiltración a través de fotografías aéreas o de imágenes de satélite utilizando un SIG, para luego evaluar el potencial de las zonas cartografiadas, mediante la exploración geoeléctrica 1D en el área seleccionada.

2.2.1. Prospección a partir de Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta que cada vez se vuelve más útil para la hidrología e hidrogeología en la gestión de los recursos hídricos ante el cambio climático y el aumento en la demanda de los recursos hídricos. Dado que el agua varía tanto espacialmente como temporalmente durante todo su ciclo hidrológico, su estudio utilizando SIG es especialmente práctico. (Bharata H S et, al. 2016)

Con esta técnica se pueden conocer aspectos importantes del ciclo hidrológico como los lugares en la superficie terrestre donde el agua superficial recarga las aguas subterráneas y

dónde los los flujos de aguas subterráneas alcanzan la superficie.

La Geomorfología tiene un papel muy importante en la distribución de las áreas favorables a la infiltración del agua. Por tanto se trata de identificar las características del terreno que hagan del sustrato potencialmente favorable para la infiltración.

Según Shukla (2014) en cualquier región del mundo existen muchos factores que favorecen o no la infiltración de agua como la topografía, la geología, la porosidad secundaria (fallas), inclinación de la pendiente, los patrones de drenaje, la geomorfología, el uso y cobertura de los suelos, las condiciones climáticas y las interrelaciones entre estos factores. Todos estos factores se pueden manejar utilizando las técnicas modernas de teledetección y Sistemas de Información Geográficos (SIG) para delinear las zonas de potencial de aguas subterráneas.

Estas causas que podrían generar la infiltración de agua en el suelo se pueden agrupar en dos categorías que Gonzáles de Vallejo, (2002) las denomina como factores condicionantes y factores desencadenantes.

2.2.1.1. Factores Condicionantes

Existen muchos tipos de factores condicionantes que son los que están constituidos por las propiedades intrínsecas o con la propia naturaleza del terreno. Estos factores son:

Geológicos: Se refieren a las características geológicas de una zona, como su litología, estratigrafía (rumbo y buzamiento) y sus discontinuidades estratigráficas y estructurales. Se pueden considerar dentro de este parámetro:

Litología: Es el tipo de suelo y/o roca que determina el grado de permeabilidad según su capacidad natural de dejar fluir el agua por sus poros.

Estructuras: Pueden ser fallas, plegamientos o estructuras locales que favorezcan el proceso de infiltración del agua.

Hidrológicos e hidrogeológicos: Son importantes porque están relacionados con la escorrentía superficial y subterránea de una

cuenca. Mientras mayor sea la escorrentía superficial, menor será la capacidad de infiltración de agua en el subsuelo.

Densidad de Drenaje: Indica la longitud total de todos los ríos y riachuelos en una cuenca de drenaje dividido para el área total de la cuenca de drenaje. Está expresada en términos de km/km^2 .

Frecuencia de Drenaje: Representa el número total de todos los órdenes de ríos y riachuelos en una cuenca de drenaje dividido para el área total de la cuenca de drenaje

Geomorfológicos: Corresponde a los factores fisiográficos o del relieve del terreno caracterizado principalmente por sus pendientes.

Pendientes: Se analiza generalmente el grado de inclinación de las pendientes, su geometría y la irregularidad de la topografía.

Usos y Cobertura de Suelos (LULC)

Usos del suelo: Hacen referencia a las funciones o actividades humanas que se realizan sobre la cubierta del suelo con la intención de cambiarlo o conservarla, para obtener productos o beneficios. Por ejemplo: agricultura, minería, pesca, entre otros.

Cobertura de suelos: Se refiere al aspecto morfológico que recubre la superficie terrestre de origen natural o antrópico. Por ejemplo: Cubiertas forestales, agrícolas, urbanas, entre otras.

2.2.1.2. Factores Desencadenantes

Son factores constituidos por agentes externos al terreno y actúan como detonantes para que el agua comience a infiltrarse en el suelo. Estos factores pueden ser:

Naturales: Tales como precipitaciones normales y extraordinarias, variaciones en la temperatura y movimientos sísmicos.

Antrópicos: como la deforestación que produce la erosión del suelo, construcción de carreteras, asentamientos humanos.

2.2.2. Prospección Geofísica

La geofísica aplica los principios de la física al estudio del interior de la Tierra, tomando mediciones en o cerca de la superficie que puedan revelar las variaciones laterales y verticales de las propiedades físicas del interior de la Tierra.

La prospección geofísica aunque algunas veces es propensa a ambigüedades o incertidumbres en la interpretación, es relativamente más rápida, más barata y abarca un área mejor distribuida de información sobre el subsuelo que las perforaciones que son mucho más caras y proporcionan información solo de un punto en concreto (Kearey et, al. 2002). Además con los registros geofísicos tomados en campo, no se producen alteraciones físicas e hidráulicas de las rocas y sedimentos del subsuelo, que se producen al extraer muestras y analizarlas en laboratorio.

2.2.2.1. Métodos Geoeléctricos (Auge, 2008)

La Prospección Geoeléctrica es la rama de la Geofísica que estudia el comportamiento que se produce en los sedimentos y rocas del subsuelo cuando fluye sobre ellos una corriente eléctrica natural o inducida.

Para Hidrogeología los métodos geoeléctricos más utilizados se basan en:

Inyección artificial de corriente eléctrica (Sondeos Eléctricos Verticales SEVs, Calicatas Eléctricas o Polarización Inducida), y los de Medidas de Corrientes Naturales (Potencial Espontáneo).

Tabla IV. Métodos geoeléctricos más utilizados en Hidrogeología

MÉTODOS GEOELÉCTRICOS MÁS UTILIZADOS EN HIDROGEOLOGÍA	
Inyección Artificial de Corriente Eléctrica	Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)
	Calicatas Eléctricas (CE)
	Polarización Inducida (PI)
Medidas de Corrientes Naturales	Potencial Espontáneo (PE)

Fuente: Auge, M., 2008.

En general todos los métodos eléctricos se basan en la Ley de Ohm que explica el flujo de corriente a través de las rocas y sedimentos. Esta Ley establece que la diferencia de potencial ΔV entre dos puntos es proporcional a la corriente eléctrica

de intensidad **I** y a la resistencia **R** que ofrece el material por dónde pasa la corriente.

$$\Delta V = I \cdot R$$

La resistencia **R** depende de la naturaleza y la geometría del conductor, y se la puede comparar con un cilindro de longitud **L** y sección **S**, y reemplazándola en la ecuación anterior se tiene:

$$\Delta V = I \cdot (\rho \cdot L) / S$$

Dónde **r** es la resistividad de las rocas y sedimentos, y representa la naturaleza del conductor. La resistividad es una propiedad inversa a la conductividad eléctrica (**σ**) y se representa comúnmente en (**$\Omega \cdot m$**).

La mayoría de las rocas y sedimentos actúan como semiconductores o conductores de baja capacidad, es decir alta resistividad, a no ser que se encuentren fisurados o que sus poros se encuentren con cierto grado de humedad. Las aguas en los sedimentos y en las rocas vienen acompañadas de sales disueltas en forma iónica,

lo que producirá una disminución en la resistividad en la medida en que su salinidad sea mayor.

Los cambios de resistividades entre diferentes materiales, permiten aplicar este método de prospección geoelectrica inyectando corrientes eléctricas continuas y obtener imágenes del subsuelo (modelos) en términos de las resistividades.

Las resistividades de los minerales, rocas y sedimentos varían según su composición, porosidad, tipo de fluido, fisuración, el tamaño de sus granos, etc., por esto es importante que la campaña geofísica vaya acompañada de información geológica previa, para reducir el margen interpretativo y poder identificar con precisión los materiales del subsuelo. En la **Figura 2. 11** se presentan los rangos de variación de resistividades para los minerales y rocas más usuales.

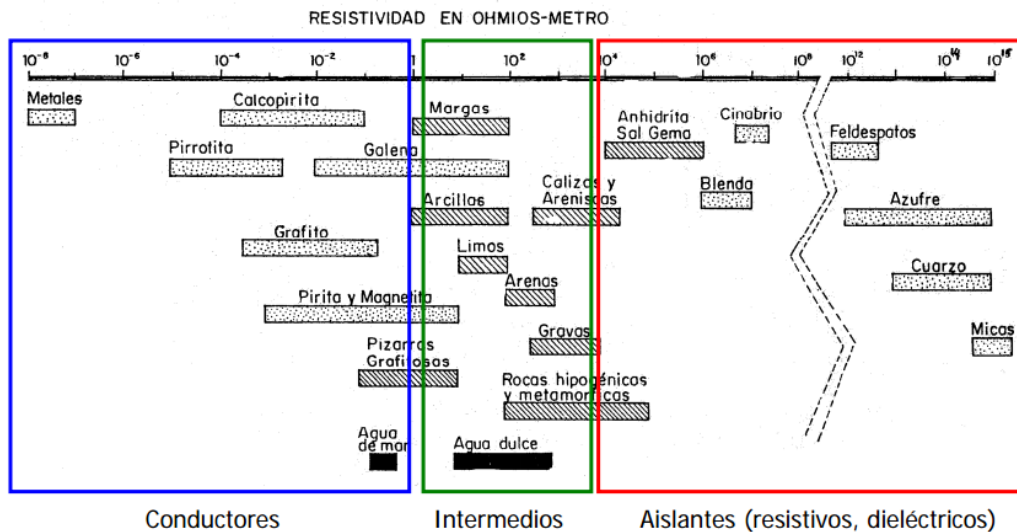


Figura 2. 11 Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales.
Fuente: IAG-UGR, 2013.

2.2.2.2. Medición de la Resistividad.

Según el Auge, (2008), las mediciones se realizan directamente sobre el terreno. La dificultad se encuentra en el tiempo de medición y en la interpretación de los datos que se va complicando en la medida en que el medio natural se va apartando de las condiciones ideales de homogeneidad e isotropía.

En medios homogéneos e isotrópicos de resistividad r la intensidad de la corriente que se inyecta por el electrodo **A** en el terreno I_A es igual a la que sale por el electrodo **B**, I_B como se

muestra en la **Figura 2. 12****Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

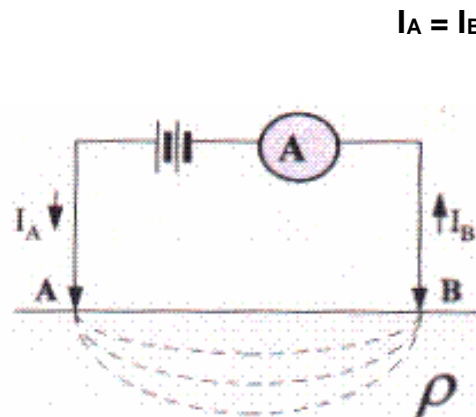


Figura 2. 12 Flujo de corriente en un medio homogéneo e isótropo.

Fuente: Auge, M., 2008.

Considerando las características del subsuelo homogéneas e isotrópicas, si se separan a distancias considerables los electrodos **A** y **B**, las líneas de corriente serán divergentes y radiales y las superficies equipotenciales serán semiesféricas (**Figura 2. 13****Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para este caso la resistividad del subsuelo se expresará:

$$\rho = \frac{2\pi (r_2 - r_1)}{r_1 * r_2} * \frac{\Delta V}{I} = K * \frac{\Delta V}{I}$$

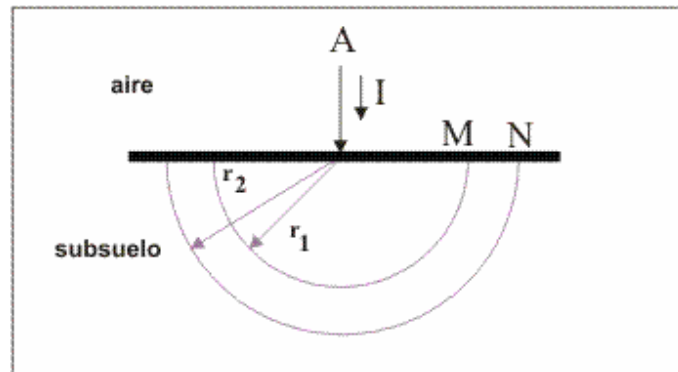


Figura 2. 13 Líneas de corriente y superficies equipotenciales cercanas al electrodo A

Fuente: Auge, M., 2008.

En este caso **K** representa la constante geométrica ya que depende directamente de la geometría con la que se coloque el dispositivo empleado para inyectar y medir la corriente.

Sin embargo el flujo eléctrico en el medio natural (**Figura 2. 14**) tiene un comportamiento distinto, ya que la mayoría de las capas del subsuelo no son homogéneas ni isotrópicas, y por tanto se tendría que integrar la ecuación anterior para cada heterogeneidad del terreno y obtener así un valor medio de resistividad, a esta resistividad se la denomina **resistividad aparente** (ρ_a).

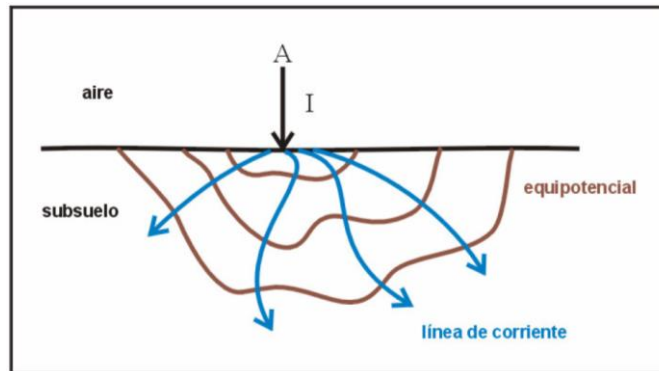


Figura 2. 14 Flujo eléctrico en medio natural.
Fuente: Auge, M., 2008.

Lo que normalmente se mide es la **resistividad aparente** (ρ_a) para ello se emplean dos tipos de configuraciones de los dispositivos lineales y polares.

Dispositivos lineales:

Los electrodos inyectoros de corriente **A** y **B** se disponen alineados respecto a los inyectoros de medición de corriente **M** y **N**, según las configuraciones Schlumberger y Wenner:

Configuración Schlumberger: Dispositivo simétrico cuya configuración como se muestra en la **Figura 2. 15**, debe cumplir que la distancia **AB** debe ser mayor o igual a **5MN**.

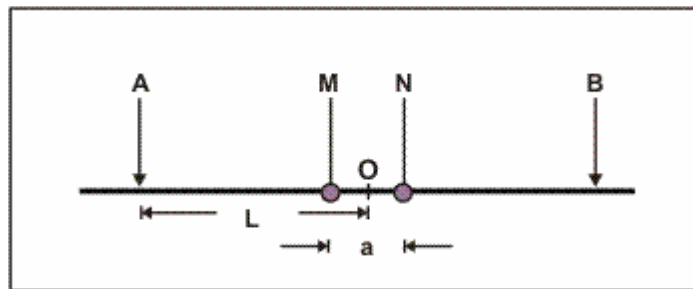


Figura 2. 15 Dispositivo Schlumberger.
Fuente: Auge, M., 2008.

Configuración Wenner: Dispositivo también simétrico en el que todos los electrodos se encuentran equiespaciados. (**Figura 2. 16**)

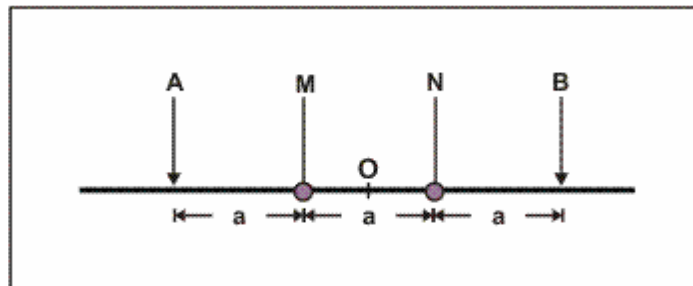


Figura 2. 16 Dispositivo Wenner
Fuente: Auge, M., 2008.

Dispositivos Dipolares

Esta disposición consiste en ubicar los electrodos AB y MN mucho más cerca de la distancia que los separa entre ellos. Las configuraciones más importantes son la axil y la ecuatorial (**Figura 2. 17**)

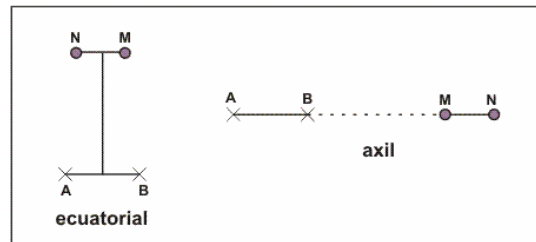


Figura 2. 17 Dispositivos Dipolares.
Fuente: Auge, M, 2008.

2.2.2.3. Proceso de Medición en Campo y Procesamiento de Datos.

Los dispositivos en Hidrogeología más utilizados según el Instituto Andaluz de Geofísica, de la Universidad de Granada (IAG-UGR, 2013) son:

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) de dispositivo Schlumberger simétrico, que como ya se explicó consiste en fijar los electrodos **M N** que miden el potencial eléctrico **V** a una distancia de un punto central de origen **O**. Luego se van colocando simétricamente en otras posiciones los electrodos **A B** que son los que inyectan la corriente, y se mide la corriente inyectada por **AB**, el potencial recibido en **MN** y se calcula con esto la resistividad aparente, para cada posición.

El resultado es una gráfica en escala logarítmica de los puntos tomados en campo, conocida como curva de resistividad aparente del terreno **Figura 2. 18**, cuyo eje de las abscisas representa la distancia $AB/2$ (**m**) y el eje de las ordenadas las resistividades en (**Ωm**) y la profundidad de investigación es proporcional a la distancia de separación entre los electrodos AB. Los datos se procesan en un software o utilizando ábacos manualmente aplicando en cualquier caso, el método inverso que consiste en calcular el modelo geofísico del subsuelo a partir de los datos experimentales que mejor se ajusten al modelo teórico después de un proceso iterativo. El resultado es un modelo 1D del subsuelo, formado bajo el punto **O**, por un conjunto de electrocapas horizontales en función de las resistividades y sus profundidades que juntas producen la curva de resistividad aparente teórica que más se aproxima a los puntos de resistividad aparente del subsuelo.

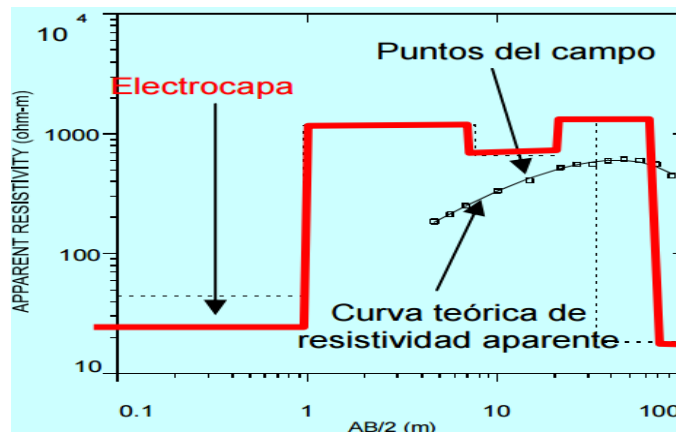


Figura 2. 18 Curva de resistividad aparente del terreno, modelo 1D calculado (electro capas)
Fuente: IAG-UGR, 2013.

Finalmente para obtener un corte geoelectrico del subsuelo de una misma zona se realizan varios SEV y se correlacionan entre sí.

Existen también otros tipos de configuraciones de los electrodos (wenner, dipolares, como ya se mencionó) que se utilizan dependiendo del objetivo y las condiciones de prospección. En todas estas configuraciones la variación del espaciado y la geometría de los electrodos llevan a reformular el cálculo de la resistividad.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los resultados de la investigación geológica presentados en este capítulo están basados en la descripción geológica, estratigráfica y estructural del libro de Geología del Ecuador del Ing. Nuñez del Arco, del libro de Micropaleontología Ecuatoriana de Ordoñez et al., de la Hoja Geológica de Manglaralto elaborada por la Dirección General de Geología y Minas (DGGM), 1974, y de las observaciones en campo del Ingeniero Amado, 1990 y corroboradas por el autor en la zona de estudio.

La cuenca de Manglaralto se encuentra en la parte sur-oeste de la cuenca de Manabí y nor-oeste de la cuenca Progreso. La cordillera Chongón-Colonche separa estas dos cuencas estratigráficas, con una dirección NW-SE. Además en esta zona se presentan dos tipos de climas: Tropical – Húmedo, típico de la cordillera Chongón-Colonche, y tropical de sabana entre el Océano Pacífico y la cordillera.

3.1. Geología

Las formaciones geológicas que se encuentran dentro de la cuenca de Manglaralto varían en edades desde el Cretácico Superior hasta el reciente y forman una potente serie de rocas sedimentarias y volcanosedimentarias como se muestran en la **Figura 3. 1** y en el perfil geológico de la **Figura 3. 2**:

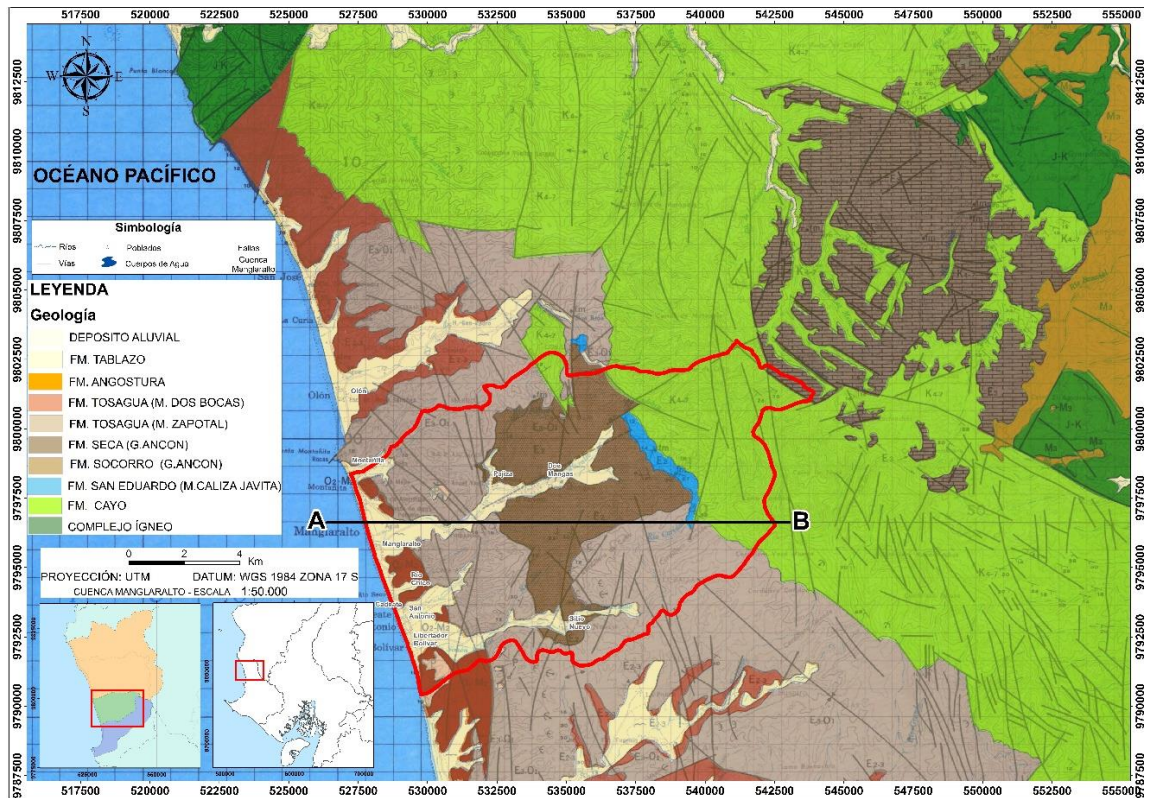


Figura 3. 1 Mapa litológico estructural regional de la cuenca de Manglaralto
Fuente: Modificado de DGGM, 1974.

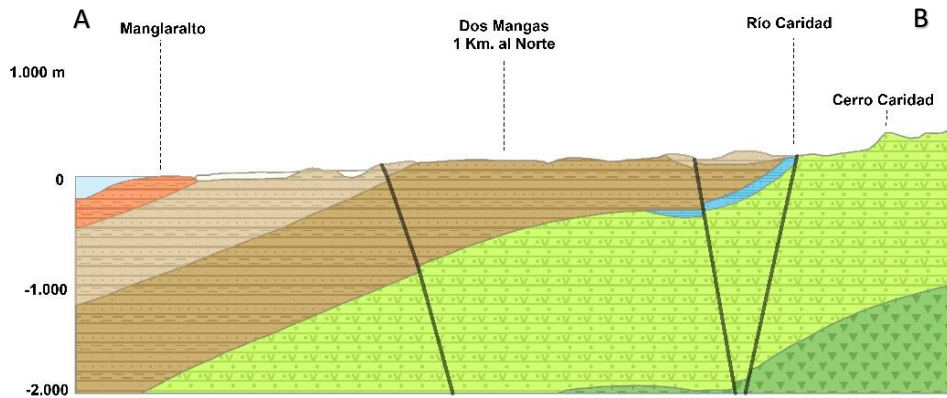


Figura 3. 2 Perfil geológico de la cuenca de Manglaralto
Fuente: Modificado de DGGM, 1974.

3.1.1. Fm. Cayo (Cretácico Superior) (K K)

Sobreyace a la Formación Piñón en contacto frecuentemente fallado. Es una formación volcano-sedimentaria formada por series de estratos delgados, gruesos y masivos de areniscas, conglomerados, cherts, tobas y aglomerados volcánicos. Puerto Cayo, en la provincia de Manabí, es su localidad tipo, generalmente sus sedimentos poseen gran cantidad de argilita tobácea de color verde oscuro a gris y posee también capas potentes de areniscas graywáckicas en alternancia con lutitas, areniscas y limolitas más finas.

Los aglomerados volcánicos forman la base de la Formación Cayo. Están compuestos de clastos fragmentados de basaltos y otros ígneos. Su matriz es de textura cristalina a vidriosa y son casi siempre de color verdoso gris a negro.

La serie de conglomerados y areniscas de la Fm. Cayo, es de granulometría muy variable desde clastos grandes incluso métricos compuestos en su mayoría por material básico ígneo, hasta granos muy finos de areniscas.

Las areniscas son en su mayoría cuarzosas, pero contienen también significativas cantidades de glauconita, calcita,

feldespato, magnetita y anfíbol. Las areniscas feldespáticas se conocen como graywackas y subgraywackas.

Las tobas aparecen generalmente en toda la Fm. Cayo, con la característica de que hacia la base son más duras y su composición varía de silicosa a calcárea y son usualmente de color blanco.

Las arcillas de la Formación 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 hacia techo finalmente dominan las lutitas tipo chert tomando el nombre de Formación Guayaquil. (Nuñez del Arco, 2003)

La Formación 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). En el río Caridad según el DGGM, (1974) afloran bancos de chert que corresponden al techo de la Formación Cayo.

3.1.2. Fm. San Eduardo (Eoceno Medio)

Está formada por un flysch calcáreo (Nuñez del Arco, 2003) y constituido por calizas algáceas, ricas en foraminíferos y radiolarios. Según Ordoñez et al., (2006) la Fm. San Eduardo posee secuencias de turbiditas de origen terrígeno granodecrecientes en la base, y terminan en un incremento progresivo de turbiditas calcáreas y lutitas silíceas hacia techo. Posee estructuras tipo slump que evidencian deslizamientos singenéticos sobre el flanco sur de la cordillera Chongón-Colonche.

Nuñez del Arco (2003) la divide en dos miembros, el Miembro más antiguo a la base San Eduardo, y el Miembro Javita que es el que aflora en la cuenca de Manglaralto.

3.1.2.1. Miembro Javita (Eoceno Medio) (EN)

Como se citó anteriormente, pertenece al miembro superior de la Fm. San Eduardo y se caracteriza por poseer calcarenitas de grano grueso color crema a gris marrón, en alternancia con brechas y conglomerados. Hacia la base presenta 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.

3.1.3. Grupo Ancón (Eoceno Medio y Superior)

Este grupo está representado 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 Formación Socorro y Seca.

3.1.3.1. Fm. Socorro (Eoceno Medio y Superior) (E3)

Nuñez del Arco, (2003), la define estratigráficamente como un flysch formado por secuencias turbidíticas alternadas con delgadas capas de areniscas y lutitas color gris verde. Posee muchas deformaciones singenéticas, formadas por deslizamientos y fallas activas durante su depositación.

Aflora al sur-este de la cuenca en forma del conglomerado basal con intercalaciones de

areniscas grises calcáreas, lutitas y limolitas. A la parte basal de esta formación Amado, (1990), la define como Miembro San Pablo, de la Formación Socorro.

3.1.3.2. Fm. Seca (Eoceno Superior) (E2)

Compuesto por lutitas turbidíticas distales, gruesas capas de areniscas y lutitas pardo amarillentas con gradación inversa. Sobreyacen a la Formación Socorro y en general son sedimentos de origen calcáreo y de fauna nerítica. (Nuñez del Arco, 2003)

Al noreste de la cuenca, aflora una serie carbonática de la Fm. Seca yaciendo discordantemente sobre la Fm. Cayo. Antiguamente, según la Dirección General de Geología y Minas (1974), se la definió como Calizas Las Delicias equivalente a la parte basal de la Fm. Zapotal. Afloran aquí hacia la base una brecha de matriz arenosa color amarillo, seguido de una caliza arrecifal con algas y foraminíferos color crema.

3.1.4. Fm. Tosagua (Mioceno Inferior – Mioceno Medio)

Es una formación según Nuñez del Arco, (2003), que empieza por una transgresión marina que poco a poco se va sedimentando. Esta formación posee tres miembros de más a antiguo a más reciente: Zapotal, Dos Bocas y Villingota. En la cuenca de Manglaralto sólo afloran los miembros Dos Bocas y Zapotal.

3.1.4.1. M. Dos Bocas (Mioceno Inferior) (M Db)

Está formada por lutitas grises limosas, que al meteorizarse se tornan color chocolate, y están alternadas con capas de limolitas y areniscas finas de color amarillo rojizo. Presenta estructuras de concreciones calcáreas, vetillas de yeso y horizontes de lignito interestratificadas con las lutitas que indican un ambiente marino somero. (Nuñez del Arco, 2003).

Las lutitas de este Miembro se encuentran en la zona central de la cuenca de Manglaralto específicamente en el corte de la carretera frente a Manglaralto, y en la parte noroeste de la cuenca

afloran las lutitas y areniscas color ladrillo.
(Amado, 1990)

3.1.4.2. M. Zapotal (Mioceno Inferior) (O Zp)

Se encuentra suprayaciendo discordantemente al Grupo Ancón y está formada 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).

Las areniscas de Zapotal, se encuentran distribuidas casi en toda la región occidental de la cuenca y afloran areniscas masivas de grano grueso, lutitas y bancos de conglomerado de tipo turbidítico con algunas intercalaciones de moluscos y restos vegetales. (DGGM, 1974).

3.1.5. Fm. Tablazo (Pleistoceno – Holoceno) (QT)

Esta formación aflora de manera general a lo largo de todo el perfil costero ecuatoriano incluyendo la costa norte del Perú. Según Ordoñez et al., (2006), se encuentra cubierta por sedimentos cuaternarios, discordantemente sobre la Fm. Puná

en la cuenca Progreso y su litología consiste de areniscas conchíferas, coquinas, conglomerados y areniscas centimétricas a decimétricas en su parte basal. Los estratos de areniscas poseen estratificación cruzada y sobre estos se encuentran capas delgadas de limolitas y arcillolitas grises y bandas de arenas grises oscuras interestratificadas.

Según Nuñez del Arco, (2003), la Formación Tablazos tiene cuatro niveles de facies: El nivel superior está compuesto de lumaquelas y areniscas calcáreas, que indican un ambiente marino profundo. La segunda facie contiene horizontes de arenas finas, arcillas y conglomerados, con conchas y nódulos calcáreos indicando un ambiente marino somero. El tercer nivel está compuesto de arenas marrones con fragmentos de conchas, al que le atribuye un ambiente marino litoral. Finalmente, la última facie, la más reciente, se encuentra bajo el actual nivel del mar.

La Formación Tablazo también aflora en la cuenca Progreso formando pequeñas mesetas surcadas por los ríos y afectadas por fallas cuaternarias que muestran la inestabilidad tectónica de la región. Según el DGGM, (1947) los autores la Fm. Tablazo presenta un alabeamiento general Suroeste razón por

la cual pierde altura de sur a norte alcanzando el nivel del mar en Ayangue.

3.1.6. Depósitos Aluviales (Holoceno)

Nuñez del Arco, (2003), los define como depósitos constituidos por conglomerados, arenas, limos y arcillas no consolidadas, dispuestos en terrazas, que fueron depositados por ríos y quebradas y se encuentran sobreyaciendo a la mayoría de las formaciones geológicas exceptuando a los depósitos estuarinos que son los más recientes.

Los depósitos aluviales de la cuenca de Manglaralto se encuentran rellenando los valles formados por los ríos Manglaralto, Cadeate y Libertador Bolívar, con conglomerados algo brechosos de matriz limo arenosa y su potencia máxima según la DGGM (1974), alcanza hasta los 20 metros de profundidad.

3.2. Tectónica Regional

En la cuenca de Manglaralto se encuentran numerosas fallas definidas por la DGGM, (1974) (**Figura 3. 1**), de orientación NW-SE o NNW-SSE con predominancia de movimiento vertical, sin embargo también existen fallas de desplazamientos

horizontales y de cizalla como las fallas de La Rinconada, Punta Montañita, La Entrada y Río Manglaralto de dirección NE-SW y se relacionan con la segunda fase de la orogénesis de la cordillera de los Andes.

También existe otra familia de fallas de dirección N-S, en el centro de la cuenca, producto de una tectónica de plegamiento evidenciada en el sinclinal del río Piñas cuyo eje es aproximadamente N-S y se desarrolla hacia el norte en la cordillera Chongón-Colonche.

Eguez et al., (2003), define la Falla Colonche como una zona de falla al sur de la cordillera Chongón-Colonche. Dice que probablemente se reactivó en la formación de la cuenca Progreso en el Terciario, en una inversión tectónica. Hacia el norte de la falla se levantan rocas de basamento oceánico. Además los autores distinguen cuatro secciones de falla que se extienden por más de 100 km con dirección sur-este desde la costa pacífica hasta la ciudad de Guayaquil: La sección noroeste, noreste, central y sureste.

Las más cercanas a la cuenca Manglaralto son las secciones norte y la sección nor-oeste:

Sección nor-oeste: Estiman que su longitud aproximada es de unos 10.5 km con una dirección N44°W y forma una leve traza curva lo que sugiere un fallamiento de tipo inverso.

La Sección norte tiene una longitud aproximada de 24.1 km con un rumbo de N39°W y un buzamiento con dirección noreste. Su movimiento según los autores, es Inverso a transpresional evidenciado en el levantamiento del pie de talud en una traza curva y en el sentido del drenaje que sugieren un fallamiento inverso y transpresional.

3.3. Clima

La península de Santa Elena, ubicada en la provincia que lleva su mismo nombre, se encuentra en el extremo oeste de la costa ecuatoriana, y además presenta un clima tropical megatérmico de árido a semiárido.

Se ha dividido la provincia en tres zonas climáticas diferentes: Clima tropical húmedo, propio de la cordillera Chongón Colonche desde donde nacen la mayoría de sistemas hidrográficos de la parte nor-oriental de la provincia, incluidos los de la cuenca del río Manglaralto. Clima tropical seco, ubicado 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 predominan los ciclos secos y las precipitaciones ocurren en los meses de febrero y marzo. Además presenta una vegetación típica de plantas que sobreviven a periodos de sequía. (GADM, 2014).

3.3.1. Precipitaciones

Las altas precipitaciones en la península de Santa Elena (estación lluviosa) inician del mes de enero hasta abril, mientras que las precipitaciones bajas (estación seca) ocurren entre mayo y diciembre. En los años en que se presenta el Fenómeno del Niño la precipitación acumulada anual supera los 1400 mm/año como en el periodo 1982-1983 y 1997-1998 (**Figura 3. 3**), lo que representa casi cuatro veces más que el valor promedio interanual estimado en 42 mm/año para el periodo 1962-2015.

El ciclo anual de precipitación en la cuenca hidrográfica de Manglaralto, en los años donde no existe este fenómeno, varía entre los 200 a 700 mm/año (**Figura 3. 5**) durante la estación lluviosa, siendo los meses de febrero y marzo los de mayores precipitaciones. En los demás meses secos, los valores de precipitación promedios mensuales son muy cercanos a cero, como se observa en la **Figura 3. 4**, donde se muestran los valores de precipitación media mensual del periodo 2000 – 2015 según datos del INAMHI de la estación pluviométrica M619 de Manglaralto ubicada a 6 msnm en las coordenadas 1° 50' 16" S de latitud y longitud 80° 44' 16" W.

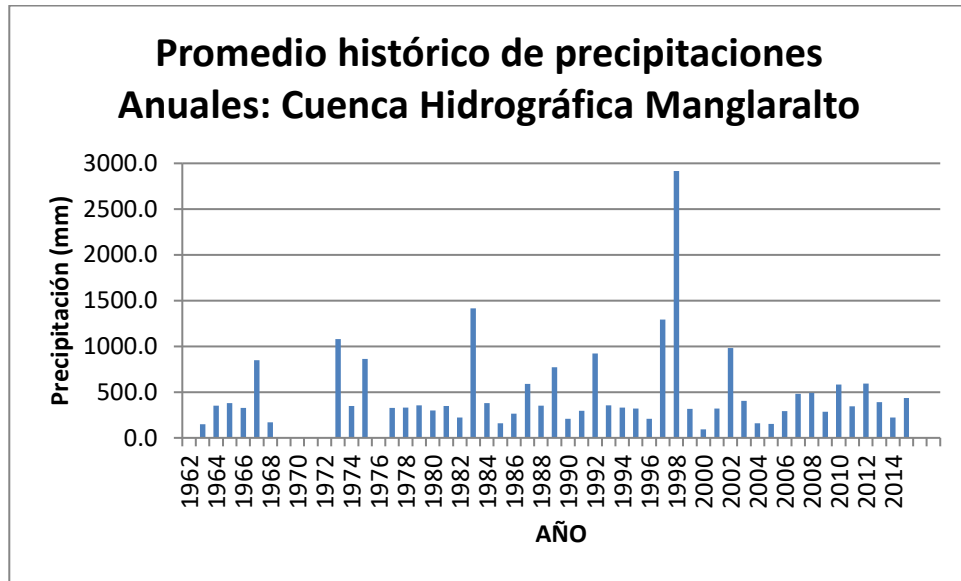


Figura 3. 3 Precipitación promedio anual. Periodo 1962 – 2015
Fuente: INAMHI, 2015.

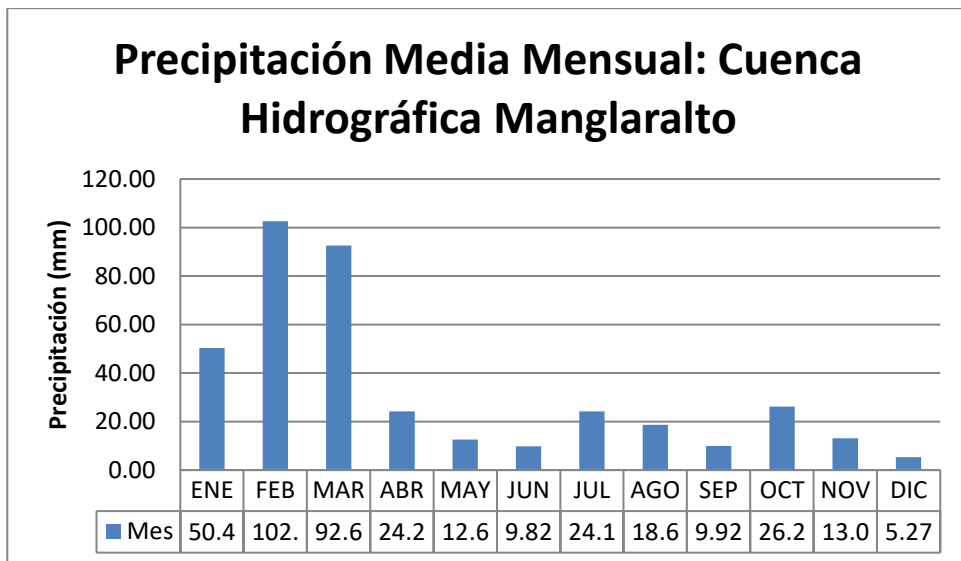


Figura 3. 4 Precipitación promedio mensual. Periodo 2000-2015
Fuente: INAMHI, 2015

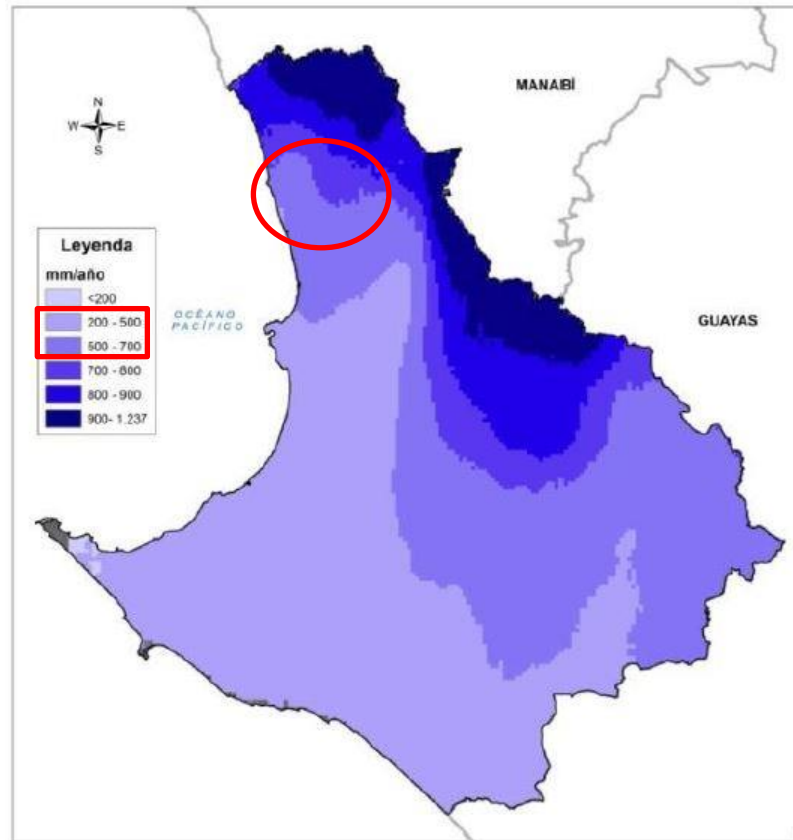


Figura 3. 5 Precipitación anual promedio
Fuente: MAE, 2013.

3.3.2. Temperatura

En la península de Santa Elena la temperatura media anual oscila entre los 21° a 25°C (**Figura 3. 6**) mientras que la evapotranspiración supera los 1000 mm y en la cuenca de Manglaralto varía entre 1000 y 1200 mm (**Figura 3. 7**). La temperaturas más altas se registran en la estación lluviosa en los meses de enero a abril, por ejemplo la temperatura máxima absoluta registrada ha sido 36° en el mes de febrero en Playas

y la mínima absoluta 15,6° en la misma estación pero en el mes de octubre.

En la cuenca hidrográfica de Manglaralto según la estación meteorológica M619 del INAMHI ubicada en la misma cuenca registra la temperatura para el periodo 2013-2014 registra los siguientes rangos:

Temperatura Media anual: 24,3°C

Temperatura Máx. Absoluta: 26,6°C (julio)

Temperatura Min. Absoluta: 21,4°C (enero)

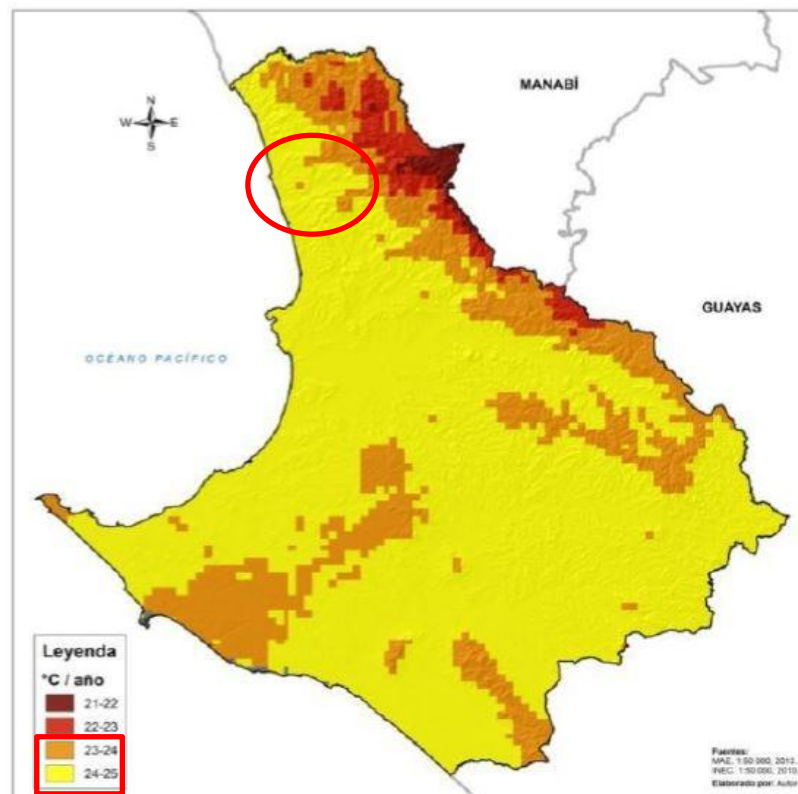


Figura 3. 6 Temperatura anual promedio
Fuente: MAE, 2013

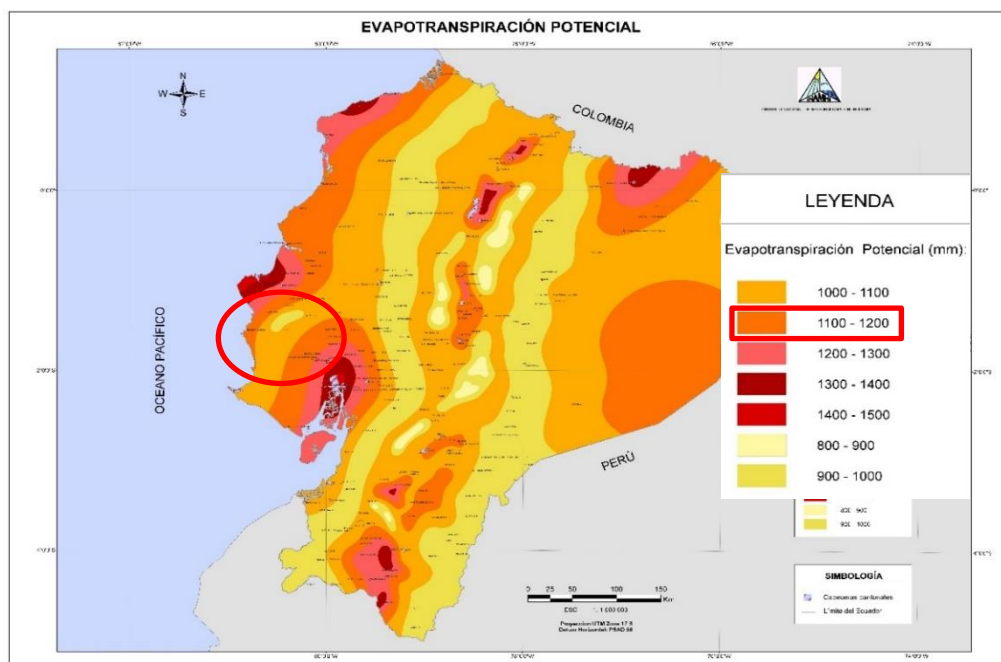


Figura 3. 7 Mapa de evapotranspiración del Ecuador
Fuente: INAMHI, 2013.

3.4. Red Hidrográfica

El sistema hidrográfico del norte de la península de Santa Elena está formado por los ríos que nacen de la cordillera Chongón-Colonche y fluyen hacia el oeste y suroeste de la península. Los que fluyen hacia el oeste tienen un recorrido relativamente corto pero son los que poseen mayor caudal.

La **Figura 1.4**, muestra las cuencas hidrográficas definidas por el MAGAP, 2002, del norte de la Península que son Ayampe, Manglaralto y Valdivia.

En la cuenca Manglaralto, según el IEE, (2012) existen además 3 subcuencas hidrográficas principales, las del río Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar y unos drenajes menores de manglares como los del río Chico y del río Montañita o Chicharrón, que en periodos muy lluviosos, sube de nivel y desemboca en el mar (**Figura 3. 8**) pero no son considerados en este estudio como potenciales acuíferos porque el agua que filtran al subsuelo tiene altos contenidos de sales disueltas.

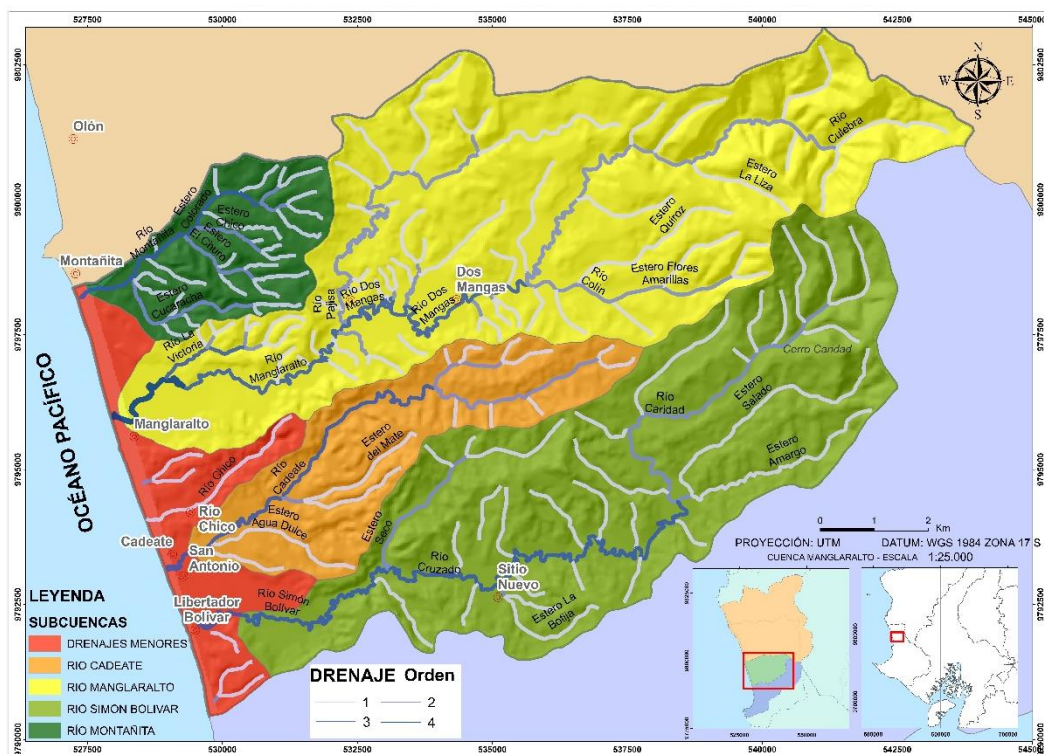


Figura 3. 8 Subcuencas y orden de drenaje
Fuente: Modificado de IEE, 2012.

Tabla V. Orden y frecuencia de drenaje de las subcuencas de la cuenca de Manglaralto.

SUBCUENCA	ORDEN	FRECUENCIAS
Manglaralto	1	54
	2	11
	3	2
	4	1
Simón Bolívar	1	29
	2	4
	3	1
Cadeate	1	13
	2	3
	3	1
Montañita	1	25
	2	6
	3	3
Drenajes Menores	1	6
	2	2

Fuente: Valencia, J., 2017.

El río Manglaralto es un río de orden 4 (**Tabla V**) y de régimen estacionario permanente, tiene ríos afluentes que lo alimentan como el río Culebra y el río Pajisa que nacen en la cordillera Chongón-Colonche a 700 m.s.n.m (**Figura 3. 8**). La cuenca está dividida en dos partes, la cuenca alta que alcanza una cota de 180 m.s.n. y es la que proporciona la mayor cantidad de agua al sistema fluvial porque posee un alto contenido de humedad debido a su gran vegetación, y la cuenca baja que se encuentra a nivel del mar y es donde se encuentran los depósitos aluviales compuestos por gravas, arenas y limos principalmente. Según el modelo de la cuenca Manglaralto elaborado por CIPAT, (2015) que se muestra en la **Figura 3. 9** el

basamento de esta cuenca lo constituyen los estratos arcillosos de la Fm. Zapotal y de la Fm. Socorro.

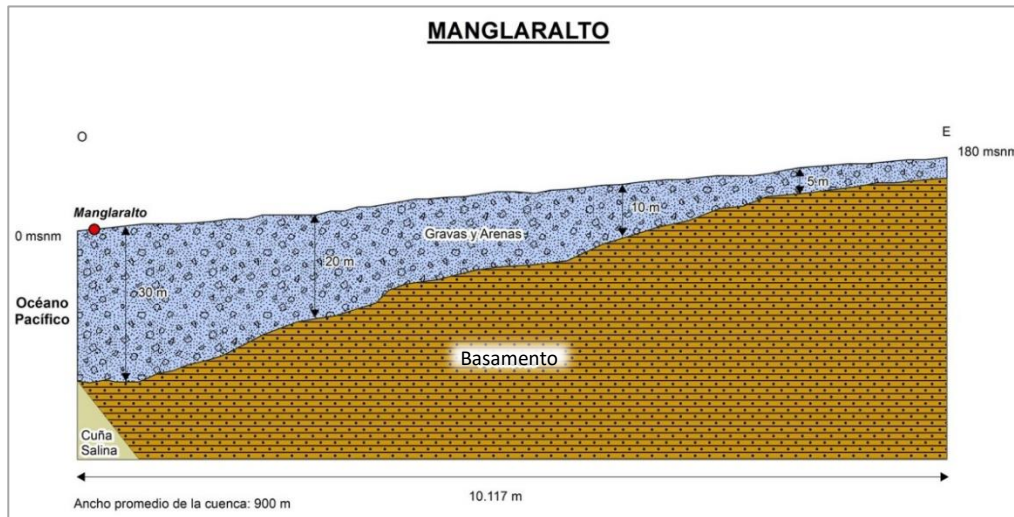


Figura 3. 9 Perfil cuenca del río Manglaralto
Fuente: CIPAT-ESPOL TECH E.P. 2015.

La subcuenca del río Cadeate es de orden 3 (**Tabla V**), de régimen fluvial que responde a las crecidas y estiaje hasta secarse según el mes del año, es decir solo contiene agua durante los meses lluviosos y alcanza su cota máxima a los 50 m.s.n.m. y su cuenca baja se encuentra a nivel del mar y contiene los depósitos aluviales de gravas, arenas y limos que van variando espacialmente. Según el modelo de la cuenca del río Cadeate elaborada por CIPAT, (2015) que se muestra en la **Figura 3. 10** el basamento de esta cuenca lo constituyen los estratos arcillosos de la Fm. Zapotal y de la Fm. Socorro.

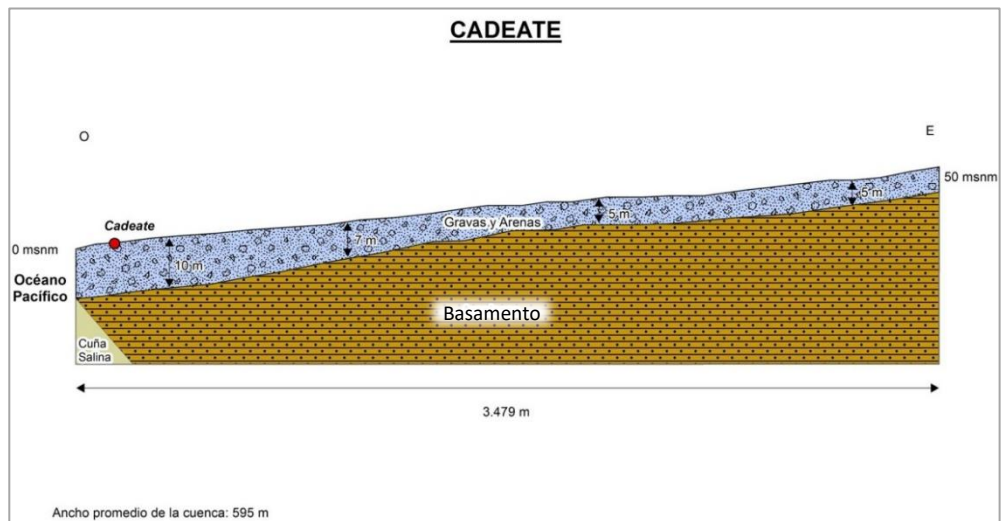


Figura 3. 10 Perfil subcuenca del río Cadeate.

Fuente: CIPAT-ESPOL TECH E.P. 2015

La subcuenca del río Simón Bolívar también de orden 3 (**Tabla V**) y de régimen intermitente, y contiene ríos afluentes que lo alimentan como el río Seco, y Caridad que bajan de la zona boscosa de la cordillera Chongón-Colonche dividiendo a la subcuenca en zona alta y baja (**Figura 3. 8**). La cuenca alta alcanza los 60 m.s.n.m, y su cuenca baja está al nivel del mar. Según el modelo de la cuenca del río Simón Bolívar elaborada por CIPAT, (2015) que se muestra en la **Figura 3. 11** el basamento de esta cuenca lo constituyen los estratos arcillosos de la Fm. Zapotal y de la Fm. Socorro.

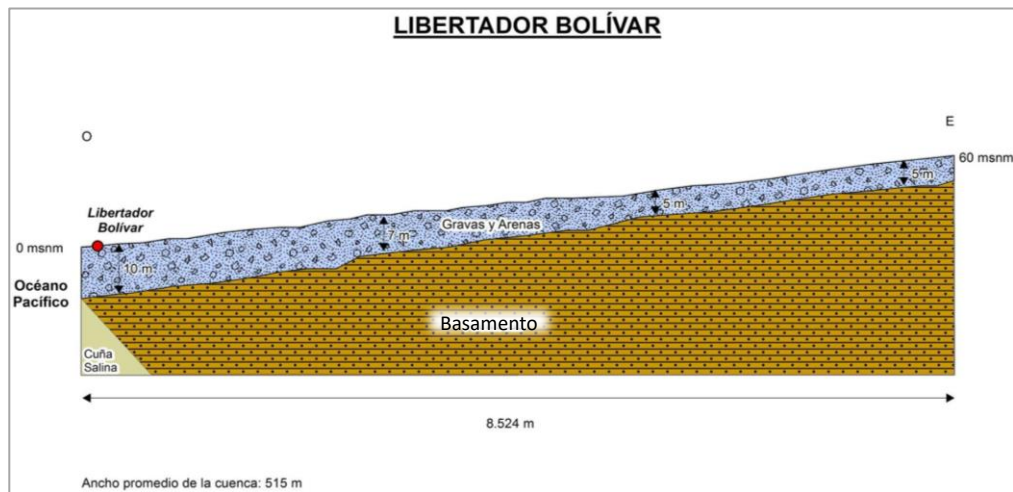


Figura 3. 11 Perfil subcuenca río Simón Bolívar
Fuente: CIPAT-ESPOL TECH E.P., 2015.

3.5. Hidrogeología

3.5.1. Características Hidrogeológicas

Los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar en la cuenca de Manglaralto poseen depósitos aluviales recientes formados por gravas y arenas, con buenas condiciones de porosidad y permeabilidad para acumular aguas subterráneas. Además la Formación Socorro del Grupo Ancón subyacente posee estratos arcillosos, y las arcillas limosas y lutitas del Miembro Dos Bocas de la Formación Tosagua, que servirían como capa impermeable lo que favorece aún más el entrapamiento del agua.

Actualmente se conoce que existe un acuífero somero en los depósitos aluviales del río Manglaralto que abastecen de agua a

7 poblaciones de la parroquia. Según el análisis de los niveles de pozos tomados por Arévalo, (2016), en el segundo trimestre del año 2016 (mayo-agosto), en los 12 pozos perforados por la JAAPMAN en este acuífero de 30 metros de profundidad, se observa que el nivel freático promedio se encuentra entre los 9 y 17 metros, y la zona saturada alcanza hasta los 20 metros de profundidad. Además según estudios del CIPAT, (2015) se tiene que la porosidad del acuífero de Manglaralto se encuentra entre el 20 al 30%, la permeabilidad entre 1,59 – 5,15 m/día, la transmisividad entre 30-128 m²/día y el coeficiente de almacenamiento se mantiene con un valor de 0,002.

Según Herrera, (2015), el acuífero de Manglaralto tiene una potencia media de 23 metros y una extensión de aproximadamente 5.08 Km², con una capacidad ideal de agua subterránea de 26'424162.4 m³ y en la actualidad solo contiene un volumen de 8'533734.2 m³, es decir que sólo se encuentra al 32.3% de su capacidad ideal.

Los depósitos aluviales del río Manglaralto se encuentran en un relieve llano y es bordeado por elevaciones que superan los 100 metros, como se indica en la **Figura 3. 12**:

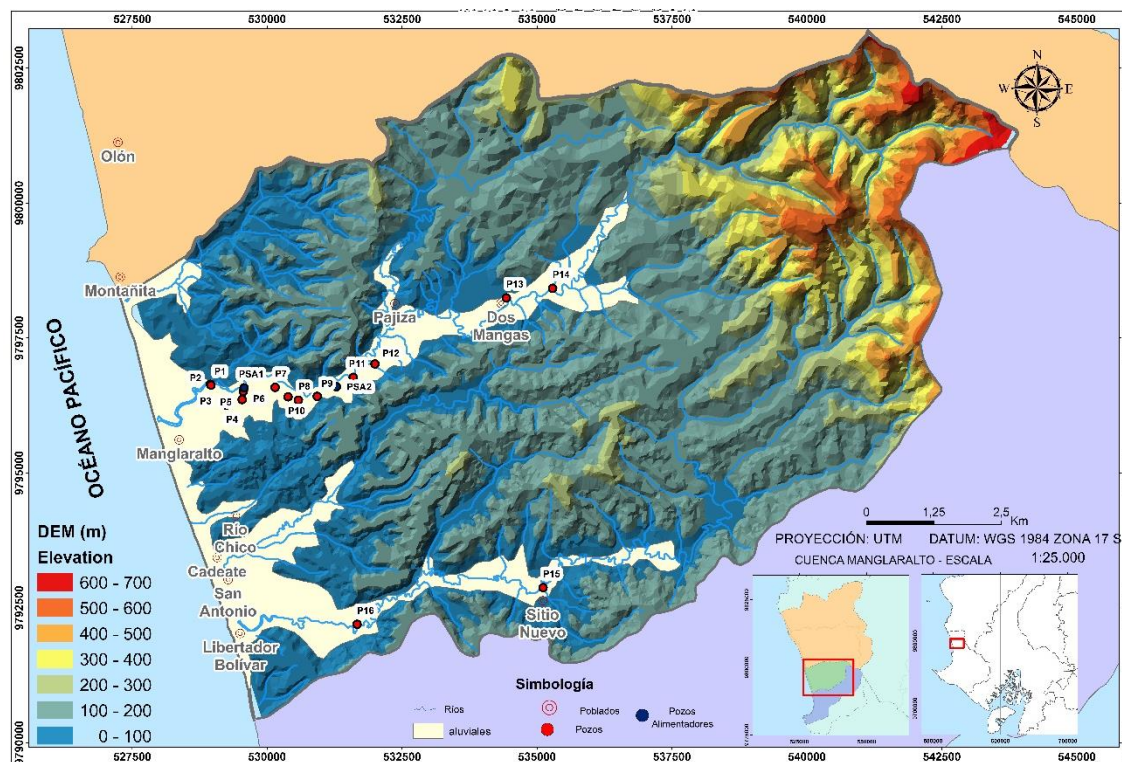


Figura 3. 12 Modelo digital de elevaciones y ubicación de pozos de la cuenca Manglaralto.

Fuente: Valencia, J., 2017.

Además según el inventario de pozos proporcionado por la JAAPMAN, no existe registro de ningún pozo en los aluviales del río Cadeate sin embargo existen cuatro pozos en los aluviales del río Simón Bolívar, tres a la altura de la comuna Sitio Nuevo de los cuales solo está activo uno, y otro cercano a la comuna Libertador Bolívar perforado por la JAAPMAN pero se encuentra actualmente inactivo, lo que asegura la presencia de aguas subterráneas también en esas zonas pero sus sistemas acuíferos no han sido todavía definidos.

3.5.2. Geometría del Acuífero

Producto de la correlación de información del Proyecto ECU/8/026 OIEA-ESPOL “Caracterización de Acuíferos Costeros en la Península de Santa Elena” donde se realizaron sondeos eléctricos y sísmicos, y con el estudio Hidrogeológico de la cuenca baja del río Manglaralto realizada por Amado, (1990), Merino (2014) con 6 sondeos eléctricos verticales adicionales realizó un modelo de la geometría del acuífero de Manglaralto en el que define los espesores de la unidad semiconfinante, y de la unidad acuífera del río Manglarlato.

(Figura 3. 13 y Figura 3. 14)

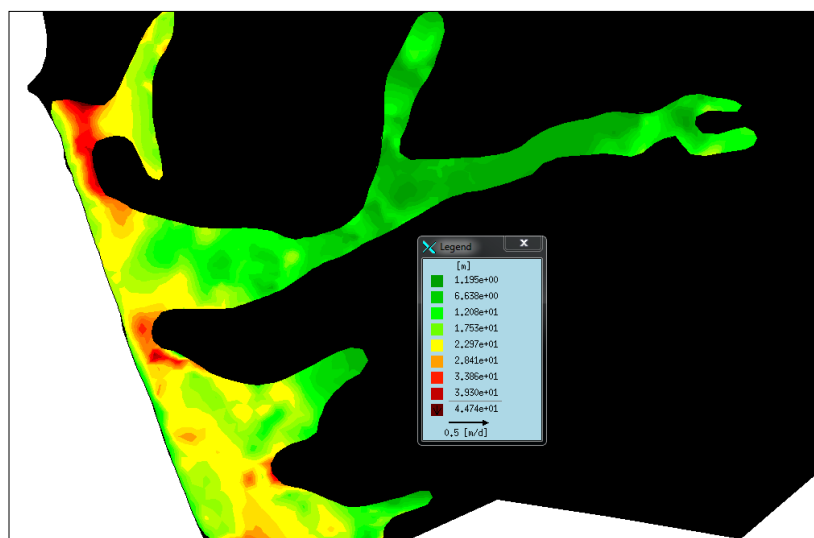


Figura 3. 13 Mapa espesor unidad semiconfinante del aluvial de Manglaralto

Fuente: Merino, E., 2014.

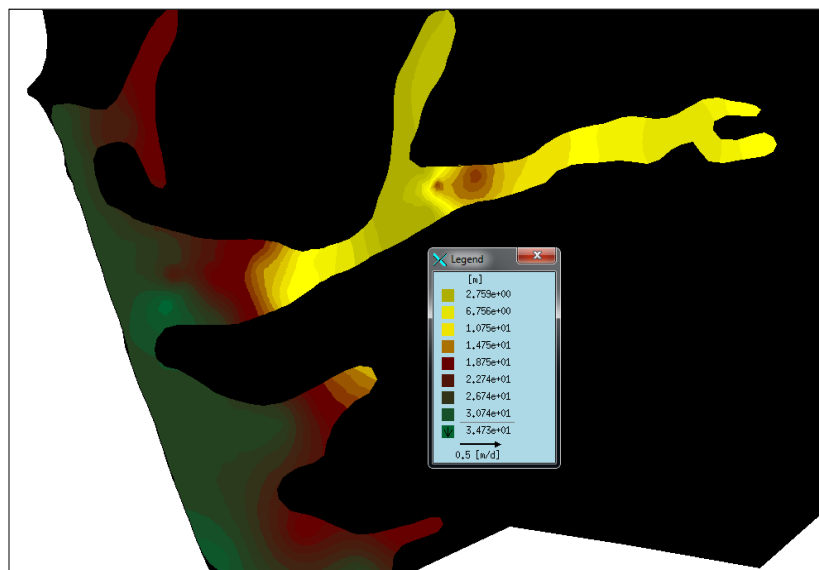


Figura 3. 14 Mapa del espesor de la unidad acuífera de Manglaralto
Fuente: Merino, E., 2014.

En la figuras se observa que en la parte baja de la cuenca, donde se encuentra la mayor cantidad de pozos de la JAAPMAN, el espesor de la unidad semiconfinante se encuentra entre 6 y 22 metros y la unidad acuífera presenta un espesor entre 14 y 30 m. En la cuenca central el espesor de la capa semiconfinante se encuentra entre 6 y 12 metros, mientras que el de la capa acuífera disminuye progresivamente hasta llegar a la comuna de Pajiza, de 18 a 3 metros. Finalmente en la zona más alta del aluvial (70–100 m.s.n.m) la capa semiconfinante tiene un espesor promedio de 2 metros, mientras que el espesor de la capa acuífera aumenta de 3 a 18 metros a medida que se acerca a la comuna de Dos Mangas y

disminuye hasta 3 metros a medida que se aleja de la comuna.

(Merino, 2014)

3.6. Demanda de agua

Herrera (2016), indica que la sobreexplotación del acuífero de Manglaralto se relaciona directamente con el crecimiento poblacional acelerado, sobre todo por el incremento del turismo en esta zona, y la falta de una planificación adecuada de este recurso por parte de las autoridades locales.

En el periodo 2006-2011 la JAAPMAN pasó de tener 3 a 10 pozos de agua, y contaba con este servicio todos los días durante todo el año, presentándose así como ejemplo a nivel mundial, aumentando el turismo y la población en la zona. Sin embargo el periodo 2012-2014, es un periodo de sobreexplotación del acuífero, y ya no se tiene el servicio de agua durante todo el año, empezando a sentirse más fuerte la escasez de este recurso. (Herrera, 2015.) En noviembre del 2015 la JAAPMAN tuvo que paralizar por primera vez el bombeo debido a que el nivel de agua de los pozos se encontraba en los niveles más bajos.

Todas estas circunstancias y el hecho de que el acuífero de Manglaralto sea la única fuente de abastecimiento de este recurso para los pobladores que viven en esta zona, han producido que los

caudales de explotación de los pozos se reduzcan considerablemente de 12 l/s en 2013 a 5 l/s en 2015. (CIPAT, 2015). Además el consumo de agua de la población, ha aumentado casi cinco veces más en 7 años, de 143,951 m³ de agua en 2008 a 593.177 m³ en 2015 .

La variación del nivel piezométrico en los pozos del acuífero en el periodo de septiembre de 2008 a septiembre de 2015, se muestra en la **Figura 3. 15**. Se observa que las variaciones son cíclicas ya que dependen de las épocas lluviosas (enero-abril), donde se recarga el acuífero debido a la mayor infiltración, y a las épocas secas (mayo-diciembre). Esta secuencia cíclica se ve alterada por la alta demanda de agua durante la temporada playera.

Para el período 2013, se observa un descenso en el nivel, sobretodo en el segundo semestre, esto se debe a que la época lluviosa de ese año fue menor que la de los años anteriores. Sin embargo se observa que después de este periodo, en el mismo año (agosto), existe un salto que refleja una recarga acelerada en el acuífero. Esto se debe la inauguración de tapes y albarradas construidas por la JAAPMAN, para hacer frente a la escasez histórica de agua de la zona.

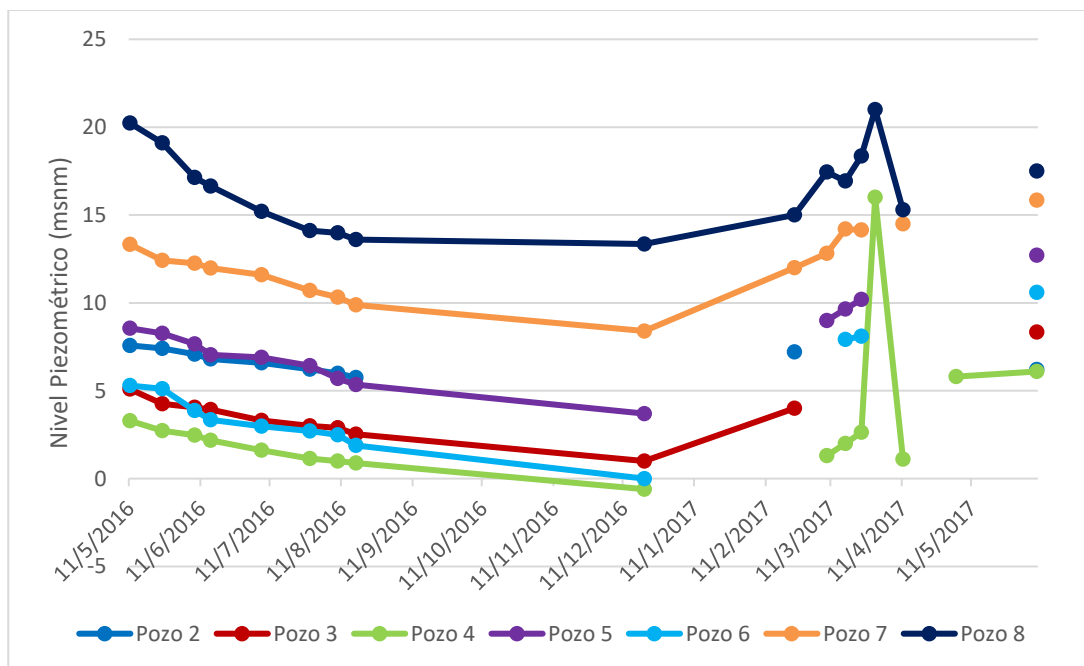
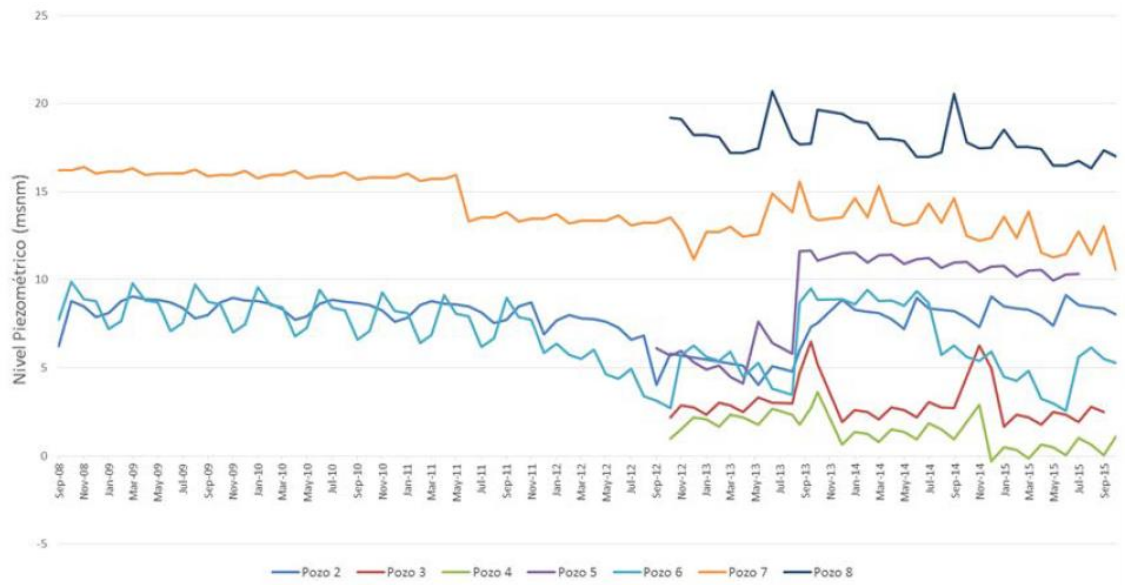


Figura 3. 15 Variación temporal del nivel piezométrico en pozos de agua.
Fuente. Herrera, G., 2015., Valencia, J., 2017.

3.6.1. Gestión del Agua Subterránea

Como se mencionó anteriormente la JAAPMAN abastece de agua potable a 7 poblados de la parroquia Manglaralto por medio de 12 pozos perforados hasta el momento. La **Tabla VI** presenta el volumen de extracción de agua subterránea de cada pozo desde el 2008 al 2016 para abastecer de este recurso a todos estos poblados.

Tabla VI.- Variación mensual y anual del consumo de agua subterránea.

Año	Volumen extraído (m³)
2008	143,951
2009	216,448
2010	292,910
2011	354,943
2012	422,640
2013	458,852
2014	473,858
2015	654,831
2016	593,177

Fuente: Valencia, J., 2017., a partir de datos de la JAAPMAN.

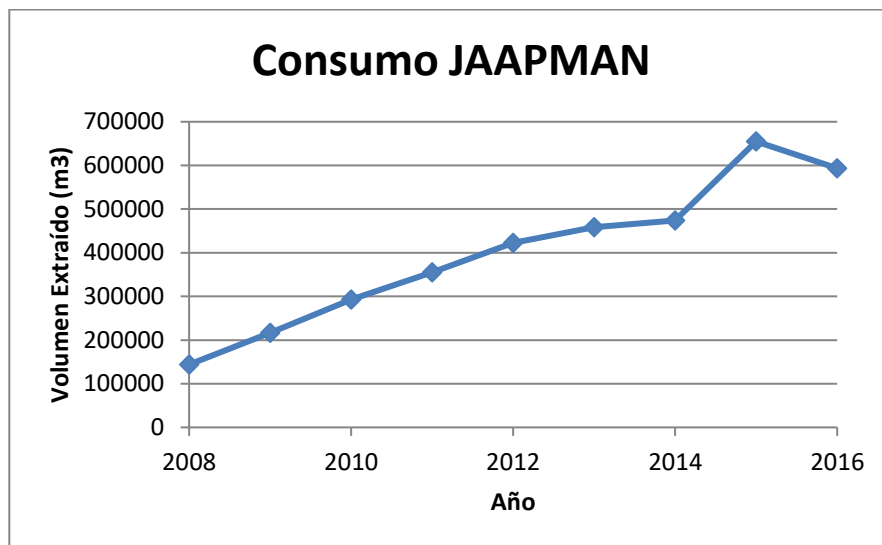


Figura 3. 16 Consumo de agua JAAPMAN

Fuente: Valencia, J., 2017., a partir de datos de la JAAPMAN.

Como se observa en la **Figura 3. 16**, existe un incremento importante en el consumo de agua hasta el año 2012 cuando se contaba sólo con 10 pozos perforados, sin embargo la tasa de crecimiento del consumo disminuye levemente en el periodo 2012-2013 debido a que como se mencionó anteriormente la JAAPMAN en el 2012 realizó campañas de concientización del uso de este recurso explicando que desde el 2008 hasta el 2012 la tasa de consumo del agua crecía 25% cada año, y construyeron 3 nuevos pozos de abastecimiento, clausuraron el pozo más antiguo y más cercano al mar debido a sus altos contenidos de sales disueltas, y disminuyeron esta tasa de consumo del 2012 al 2014 al 10%, satisfaciendo así de mejor

manera la demanda local, por lo que para estos años el consumo no se incrementó considerablemente.

Sin embargo en el año 2015 se ha la demanda de consumo aumentó en un 30% a la demanda del 2014, y el acuífero alcanzó niveles críticos por lo que la JAAPMAN tuvo que apagar por primera vez las bombas de extracción y racionalizar el agua en las comunas hasta que el acuífero se recuperó levemente y pudo continuar con su ritmo de extracción normal.

A pesar de estos avances para el año 2016, el rendimiento de los pozos ha disminuido considerablemente debido a que las precipitaciones en este periodo han sido escasas y la demanda de consumo de agua continúa creciendo.

CAPÍTULO 4

TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO

4.1. Metodología para la elaboración del mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas

La metodología empleada para la realización de este trabajo se muestra en la **Figura 4. 1**:

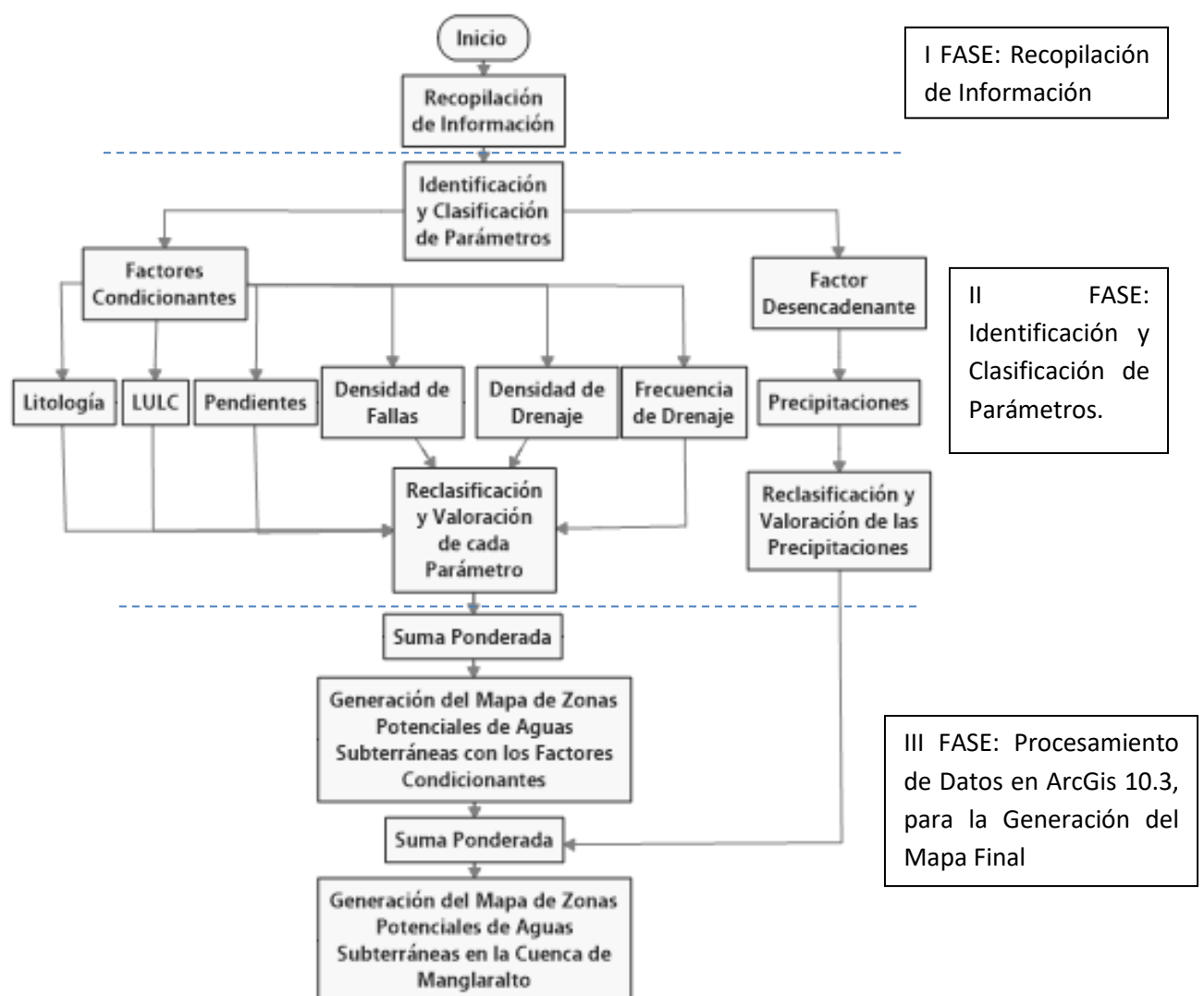


Figura 4. 1 Metodología empleada para la demarcación de zonas potenciales de aguas subterráneas.

Fuente: Modificado de Coello et, al, 2014.

4.1.1. Fase I: Recopilación de información

La información que ha sido necesaria para la generación de los mapas temáticos de este proyecto son:

- Cartas topográficas de Delicias, Manglaralto, Colonche. (Curvas de nivel, ríos, vías, poblados). Escala 1:50.000. (IGM, 2013).
- Mapa geológico del Ecuador. Hoja Manglaralto. (Mapa geológico y de fallas). Escala 1:100.000. (Dirección General de Geología y Minas, 1974).
- Cartografía de clima e hidrología del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena. Escala 1:25000. (IEE, 2012). Cuencas hidrográficas, isoyetas.
- Cartografía de capacidad de uso de las tierras del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena. Escala 1:25000. (IEE, 2012). Usos y coberturas de suelos.

4.1.2. Fase II: Identificación y clasificación de los parámetros

Para la realización del mapeo de las zonas potenciales de aguas subterráneas en la cuenca de Manglaralto se han considerado varios parámetros según la importancia de su contribución en la infiltración del agua desde la superficie hasta los acuíferos subterráneos, y se los han dividido en factores

condicionantes y factores desencadenantes según Abril, (2011). Los factores condicionantes o condicionantes intrínsecos son los que inciden en los procesos de infiltración y son relativos a las características propias del suelo (Abril, 2011), es decir son los que determinan las condiciones necesarias para la infiltración de aguas subterráneas. Para este caso como se muestra en la **Figura 4. 1**, se han considerado los parámetros de litología, usos y cobertura de suelos, pendientes, densidad de fallas, frecuencia y densidad de drenaje, como factores condicionantes intrínsecos. A su vez los factores desencadenantes o condicionantes externos son aquellos que en un determinado momento potencian la frecuencia normal de infiltración (Abril, 2011), se ha considerado a la precipitación como un factor desencadenante o condicionante externo ya que un terreno puede tener todas las condiciones adecuadas para alojar agua subterránea pero la presencia de lluvias es la que potenciará su acumulación.

4.1.2.1. Factores Condicionantes

- **Litología**

Yeh et al, (2015) dice que el tipo de roca expuesta en superficie afecta significativamente a la recarga de agua subterránea. Litológicamente el área de estudio está compuesta por las Formaciones geológicas definidas como Cayo, Seca y Socorro del Grupo Ancón, los miembros Dos Bocas y Zapotal de la Formación Tosagua, Fm. Tablazos y depósitos aluviales de los ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar principalmente.

Este parámetro se lo ha clasificado en cuatro clases dependiendo de las propiedades de porosidad y permeabilidad de cada unidad geológica según Ortiz & Rivas, (2014) y se utilizó el mapa de litopermeabilidades del CIPAT-SENAGUA-AECID, 2014, que los ha clasificado en tres grupos según su permeabilidad:

Unidades litológicas permeables por porosidad intergranular: Las cuales se clasifican por su permeabilidad en: muy alta, alta, media y baja.

Ortiz & Rivas, (2014). CIPAT-SENAGUA-AECID, (2014) las identificó con el color azul en diferente gradación en función de su permeabilidad, con mayor intensidad del color para valores más altos de permeabilidad y menor intensidad para valores más bajos. (**Tabla VII**)

Tabla VII. Unidades litológicas permeables por porosidad intergranular.

UNIDADES LITOLÓGICAS PERMEABLES POR POROSIDAD INTERGRANULAR		
SÍMBOLOS-UNIDADES GEOLÓGICAS-LITOLOGÍA		PERMEABILIDAD
Da	DEPÓSITO ALUVIAL; GRAVAS Y ARENAS	MUY ALTA
QT	FM. TABLAZO; ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y BANCOS CALCÁREOS	ALTA
O Zp	FM. TOSAGUA (M. ZAPOTAL); ARENISCAS, LUTITAS, CONGLOMERADOS	MEDIA
E2	FM. SOCORRO (G.ANCÓN); CONGLOMERADOS, LIMOLITA, LUTITA, ARENISCA, ARCILLA	MEDIA
E3	FM. SECA (G.ANCÓN); ARENISCAS, LIMOLITAS, LUTITAS, CONGLOMERADOS, CALIZAS	BAJA

Fuente: Modificado de CIPAT-SENAGUA-AECID, 2014.

Unidades litológicas permeables por fisuración y karstificación: la cual se caracterizan por su permeabilidad en: alta, media y baja. Se identificó con el color verde en diferente gradación en función de su permeabilidad, con mayor intensidad del color para valores más altos de permeabilidad y menor intensidad para valores más bajos. (**Tabla VIII**)

Tabla VIII. Unidades litológicas permeables por fisuración y karstificación.

UNIDADES LITOLÓGICAS PERMEABLES POR FISURACIÓN Y KARSTIFICACIÓN		
SÍMBOLOS-UNIDADES GEOLÓGICAS-LITOLÓGÍA		PERMEABILIDAD
EN	M. CALIZA JAVITA (FM. SOCORRO-G.ANCÓN); CALIZAS ARRECIFALES, ARENISCAS CARBONATADAS	MEDIA
K K	FM. CAYO; ARENISCAS, GRAUVACAS VOLCÁNICAS CON MATRIZ ARCILLOSA, ARGILITAS SILICIFICADAS	BAJA

Fuente: Modificado de CIPAT-SENAGUA-AECID, 2014.

Unidades litológicas prácticamente sin agua

subterránea explotable: Estas unidades se las clasificó sin ningún interés hidrogeológico para su explotación, y se caracterizan en: a) acuicludo es decir tienen una permeabilidad muy baja por lo que tiene capacidad de almacenar agua pero no transmitirla y b) acuífugo considerada impermeable, es decir no tiene capacidad de almacenar ni transmitir agua. Se identificó con el color naranja menos intenso para acuífugos.

(Tabla IX)

Tabla IX. Unidades litológicas practicamente sin agua subterránea explotable.

UNIDADES LITOLÓGICAS PRACTICAMENTE SIN AGUA SUBTERRÁNEA EXPLOTABLE		
SÍMBOLOS-UNIDADES GEOLÓGICAS-LITOLÓGÍA		PERMEABILIDAD
M Db	FM. TOSAGUA (M. DOS BOCAS); ARCILLAS CHOCOLATE, ARENISCAS, INTERCALACIONES DE VETILLAS DE YESO	BAJA

Fuente: Modificado de CIPAT-SENAGUA-AECID, 2014.

- **Usos y Coberturas de Suelos (LULC)**

La permeabilidad que poseen los diferentes tipos de suelos es un factor importante que controla la recarga de un acuífero (Zaidi et. al, 2015). Estos parámetros fueron tomados del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), que los obtuvieron mediante la interpretación interdependiente de datos de sensores remotos, relacionados con mapas de usos y coberturas de suelos. El área de estudio está formada según este mapa, por ríos dobles, suelos agrícolas (limón, maíz, maracuyá, plátano, paja toquilla, pechiche), suelos mixtos agropecuarios, terrenos de bosques en protección y conservación, terrenos de protección y conservación o pecuarios, pecuarios, de producción (caña guadúa o bambú), y de tierras improductivas como la playa y los centros poblados y sus construcciones. Según la clasificación de Jasrotia et al., (2016) (**Tabla X**) los cuerpos de agua (ríos dobles) tienen un muy alto potencial para la filtración de aguas subterráneas. Los campos agrícolas, de producción (caña

guadúa) y pecuarios han sido clasificados como zonas de alto potencial. Los bosques, matorrales y la vegetación herbácea han sido catalogados como zonas de conservación y protección y por tanto como zonas de medio o moderado potencial. Y finalmente las tierras improductivas como la playa y las de uso antrópico han sido clasificadas como zonas de bajo potencial.

Tabla X. Clasificación LULC

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	Clasificación
LULC (LAND USE LAND COVER)	Agrícola (barbecho, limón, maíz, maracuyá, plátano, paja toquilla, pechiche)	Alto
	Agropecuaria mixto (pasto con árboles, misceláneos)	Alto
	Agua (río doble)	Muy alto
	Antrópico (poblados, empresas, parques, cementerio, urbanizaciones, aeropuerto)	Bajo
	Conservación y Protección (Bosques, matorrales)	Moderado
	Conservación y Protección o Pecuario (Vegetación Herbácea)	Moderado
	Pecuario (Pasto cultivado)	Alto
	Protección o Producción (Caña guadúa o bambú)	Alto
	Tierras Improductivas (playa)	Bajo

Fuente: Modificado de Jasrotia et al., 2016.

- **Pendientes**

El Modelo Digital de Elevaciones (DEM) fue generado con las líneas de contorno (intervalo de 20m) que se obtuvieron de las cartas topográficas de escala 1:50.000, Delicias, Manglaralto y Colonche del geoportal del IGM. El mapa de pendientes fue generado a partir de este DEM.

Las pendientes dan una idea general acerca de la posible dirección de los flujos de aguas subterráneas y su influencia en su recarga y descarga (Shukla, 2014).

Las pendientes suaves favorecen la infiltración de agua, porque permiten que el agua se estanque en un lugar por mucho tiempo y que poco a poco vaya recargando los acuíferos, por tanto a menor pendiente, menor escorrentía y mayor infiltración.

Se clasificaron las pendientes según los parámetros establecidos por el MAGAP, (2002) que se muestran en la **Tabla XI**, donde las clasifican en 6 categorías.

Tabla XI. Clasificación pendientes

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	Clasificación
PENDIENTES	< 5%	Débil, plano o casi plano
	5-12%	Inclinación regular, suave o ligeramente ondulada
	12-25%	Irregular, ondulación moderada
	25-50%	Fuertes, colinado
	50-70%	Muy fuertes, escarpado
	>70%	Abruptas, montañosas

Fuente: MAGAP, 2002.

- **Densidad de Fallas**

Según Suganthi et al., (2013) las fallas forman lineamientos rectos y mejoran la permeabilidad del terreno, ya que por sus fisuras se filtra con mayor rapidez el agua, por tanto a mayor longitud de fallas por km² mayor será la infiltración. Además usualmente están asociadas con los patrones de drenaje y controlan el movimiento y almacenamiento de las aguas subterráneas. Las mayoría de fallas en la cuenca Manglaralto, tienen una orientación NW-SE y N-S, además existe una falla con dirección NE-SW en la misma dirección del río Manglaralto. La longitud de estas fallas varía desde unos pocos metros hasta kilómetros. En la **Tabla XII** se muestra cómo se clasificaron estos lineamientos en tres categorías según su

longitud por km^2 como lo hace Suganthi et al., (2013).

Tabla XII. Clasificación densidad de fallas.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
FALLAS	<0.15 km/km^2	Baja
	0.15-0.47 km/km^2	Media
	>0.47 km/km^2	Alta

Fuente: Suganthi et al., 2013.

- **Densidad de Drenaje**

Está definida como la relación entre, la longitud total de los segmentos de ríos por unidad de área (Ibrahim & Ahmed, 2016) es decir la suma de las longitudes de todos los ríos de la cuenca sobre el área de dicha cuenca en (km/km^2).

Es una función inversa a la permeabilidad y es por eso que es importante en los análisis de aguas subterráneas (Shukla, 2014). Por tanto a mayor densidad de drenaje mayor será la escorrentía superficial, y por tanto menor será la infiltración.

Para este estudio se ha clasificado la densidad de drenaje en 5 clases, según la clasificación de

Shukla, (2014), tal como se muestra en la **Tabla XIII**.

Tabla XIII. Clasificación densidad de drenaje

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
DENSIDAD DE DRENAJE	<1 km/km ²	Muy baja
	1-2 km/km ²	Baja
	2-4 km/km ²	Moderada
	4-6 km/km ²	Alta
	>6 km/km ²	Muy alta

Fuente: Shukla, S., 2014.

- **Frecuencia de Drenaje**

Está definida según Shukla, (2014) como el número total de ríos en un área, en este caso el número de ríos de la cuenca.

Se ha encontrado en nuestra área de estudio que la frecuencia de drenaje y la densidad de drenaje guardan una estrecha relación, por tanto a menor frecuencia de ríos, mayor será la recarga del acuífero, ya que existe una menor escorrentía y una mayor infiltración.

Se ha clasificado la frecuencia de drenaje en 5 categorías según Shukla, (2014), tal como se muestra en la **Tabla XIV**.

Tabla XIV. Clasificación frecuencia de drenaje.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
FRECUENCIA DE DRENAJE	(<2) (ríos/km ²)	Muy pobre
	(2-5) (ríos/km ²)	Pobre
	(5-10) (ríos/km ²)	Moderada
	(10-20) (ríos/km ²)	Alta
	(>20) (ríos/km ²)	Muy alta

Fuente: Shukla, S., 2014.

4.1.2.2. Factor desencadenante

- **Precipitaciones**

Los valores de precipitaciones son los que desatan la presencia de agua subterránea en el sector. La infiltración producida por las precipitaciones depende especialmente de dos factores: de la intensidad de la lluvia y del tipo de terreno en que se deposita el agua lluvia.

Se han clasificado a las precipitaciones en 4 categorías, de acuerdo a la clasificación de Blair (1942), tal como se muestra en la **Tabla XV** tomado de Ereño & Núñez, (2006).

Tabla XV. Clasificación precipitaciones.

PARÁMETRO	DESCRIPCION	CLASIFICACIÓN
PRECIPITACIONES	<250 mm	Precipitación escasa
	250-500 mm	Precipitación ligera
	500-1000 mm	Precipitación moderada
	1000-2000 mm	Precipitación fuerte

Fuente: Ereño, C., Núñez, S., 2006.

4.1.3. Fase III. Procesamiento de datos en Arcgis 10.3

La elaboración de los rásters para cada parámetro de los factores condicionantes intrínsecos, se realizó a partir de la siguiente información preliminar: **Figura 4. 2** Mapa de litopermeabilidades, **Figura 4. 3** Mapa usos y coberturas de suelos, **Figura 4. 4** Mapa de pendientes., **Figura 4. 5** Mapa de fallas.. **Figura 4. 6** Mapa de ríos.

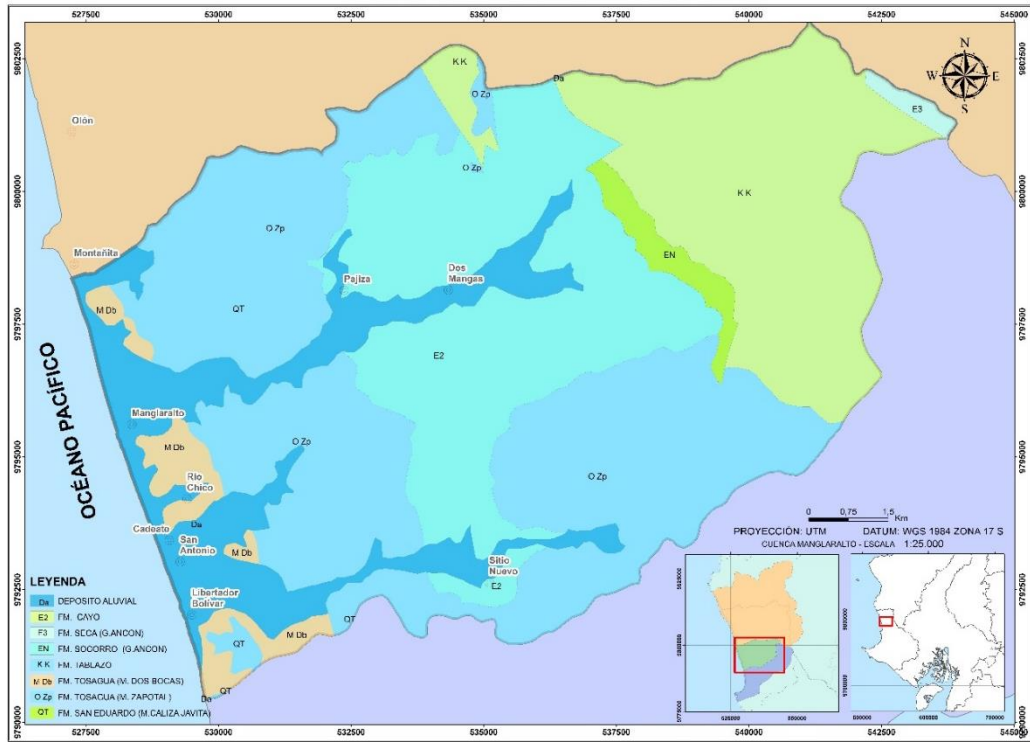


Figura 4. 2 Mapa de litopermeabilidades

Fuente: Modificado de DGGM, 1974.

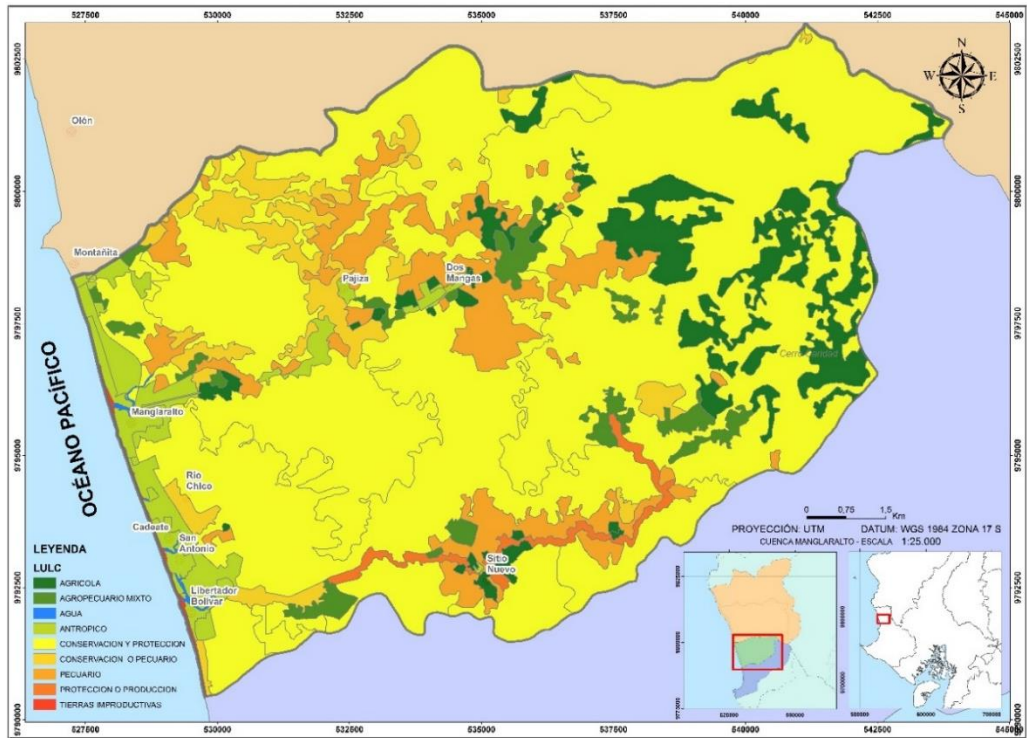


Figura 4. 3 Mapa usos y coberturas de suelos

Fuente: Modificado de IEE, 2012.

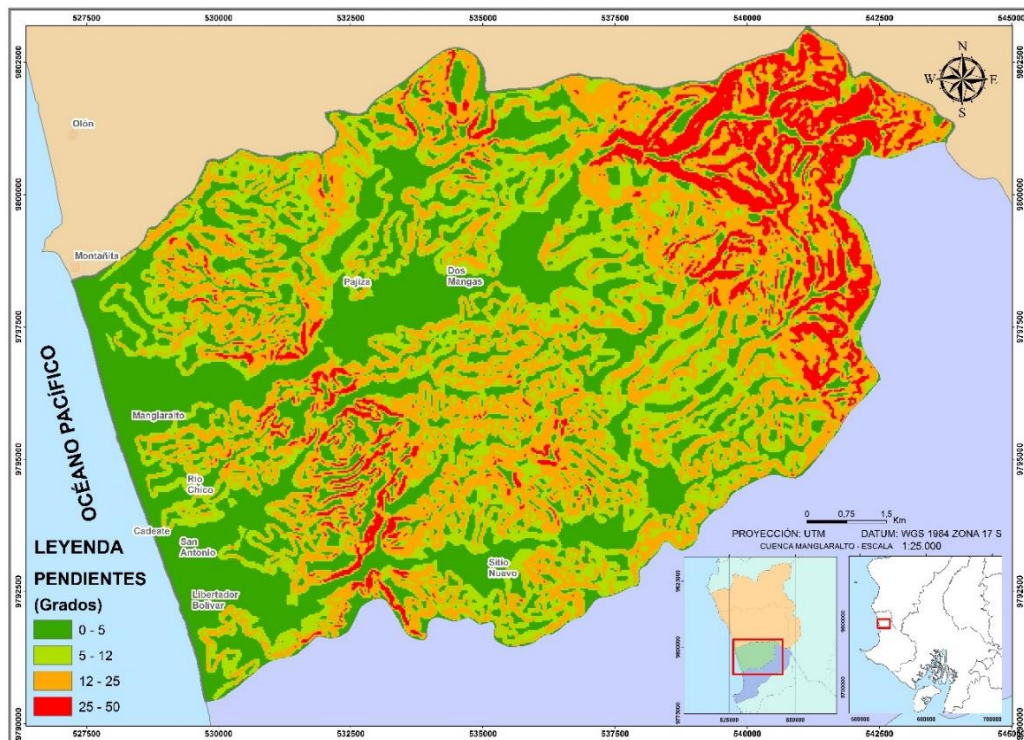


Figura 4. 4 Mapa de pendientes.
Fuente: Modificado de IGM, 2013.



Figura 4. 5 Mapa de fallas.
Fuente: Modificado de DGGM, 1974.

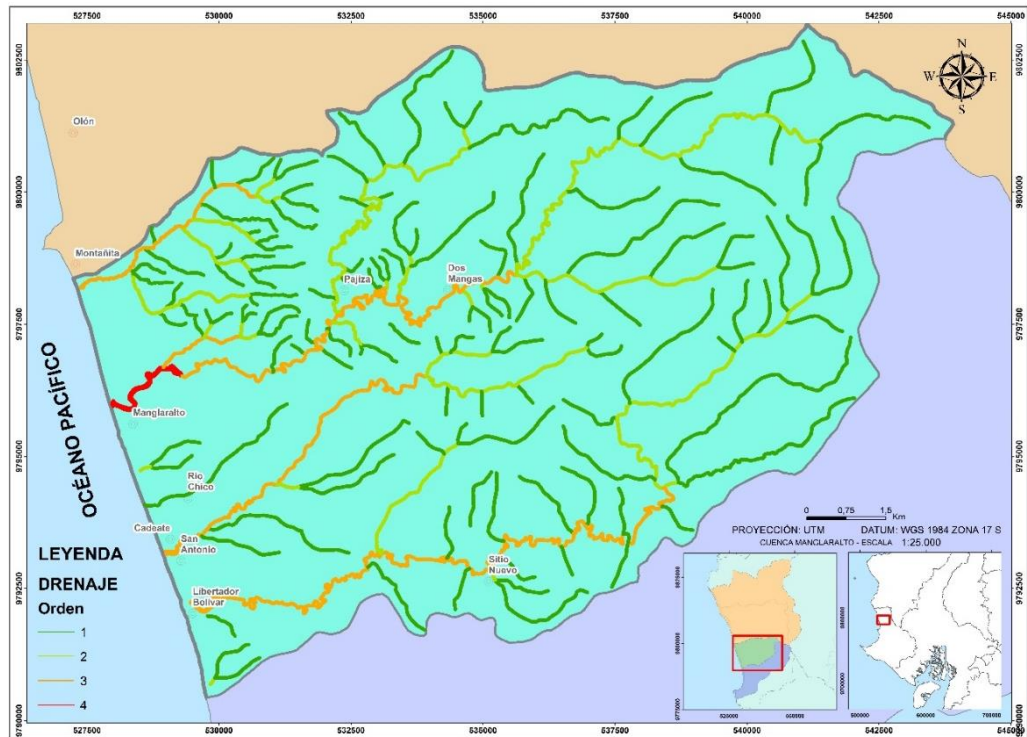


Figura 4. 6 Mapa de ríos
Fuente: Modificada de IGM, 2013.

La elaboración del ráster para el parámetro de precipitaciones considerada como un factor desencadenante o condicionante externo se realizó a partir de los datos del mapa de Isoyetas del IEE (2012) (**Figura 4. 7**):

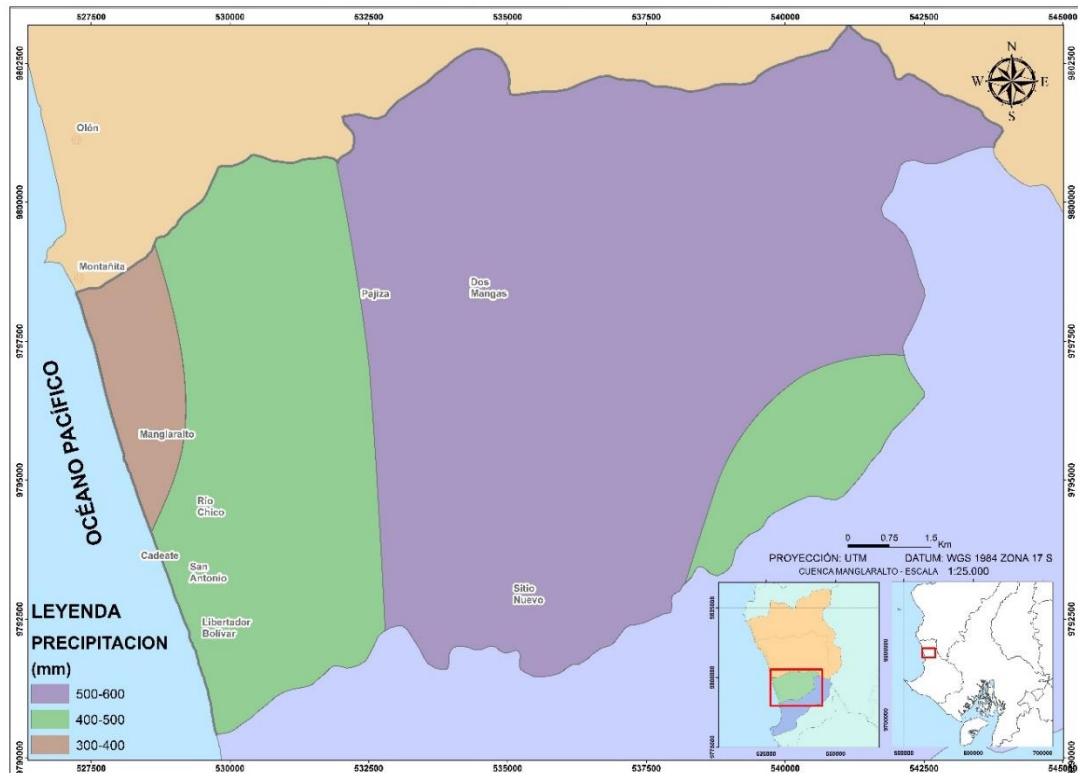


Figura 4. 7 Mapa de precipitaciones
Fuente. Modificado de IEE, 2012.

4.1.3.1. Reclasificación y Valoración

Los valores contenidos en los mapas generados tienen diferentes significados y unidades de medida, por esta razón, y para poder compararlos se requiere estandarizar o reclasificar sus valores a una misma unidad de medida, en este caso se ha considerado conveniente emplear una escala numérica de 1 a 4, donde 1 representa la más baja

potencialidad y 4 más alta potencialidad del criterio a desarrollar (Abril, 2011).

Se realizó una reclasificación de los valores obtenidos en cada mapa según las valoraciones establecidas por los autores citados, para cada parámetro utilizando la herramienta Reclasify. Esta valoración de todos los parámetros para determinar las zonas potenciales de aguas subterráneas se muestra a continuación:

Para el parámetro de geología, la valoración se la realizó de acuerdo a la valoración de lito-permeabilidad de las rocas según Ortiz & Rivas (2014) y CIPAT-SENAGUA-AECID (2014), (**Tabla XVI y Figura 4. 8**). Para el parámetro de usos y coberturas de suelos se utilizó la valoración de Jasrotia et al., (2016) (**Tabla XVII y Figura 4. 9**). Para el parámetro de pendientes la valoración se la realizó según la clasificación de pendientes empleadas en el MAGAP, (2002) (**Tabla XVIII y Figura 4. 10**). En el caso de densidad de fallas se utilizó la valoración de Suganthi (2013), (**Tabla XIX y Figura 4. 11**). Para los parámetros de densidad

de drenaje, frecuencia de drenaje de fallas la valoración se la realizó de acuerdo a la clasificación empleada por Shukla (2014), (**Tabla XX y Tabla XXI y Figura 4. 12 y Figura 4. 13**). Finalmente para el parámetro de precipitaciones la valoración se la realizó de acuerdo a la clasificación empleada por Blair, (**Tabla XXII y Figura 4. 14**).

Tabla XVI. Valoración geología

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
LITOLOGÍA	Fm. Cayo	1
	Fm. San Eduardo	2
	Grupo Ancón (Fm. Seca)	1
	Grupo Ancón (Fm. Socorro)	2
	Fm. Tosagua (M. Dos Bocas)	1
	Fm. Tosagua (M. Zapotal)	2
	Depositos Aluviales	4
	Fm. Tablazos	3

Fuente: Ortiz, C., Rivas, E., 2014.

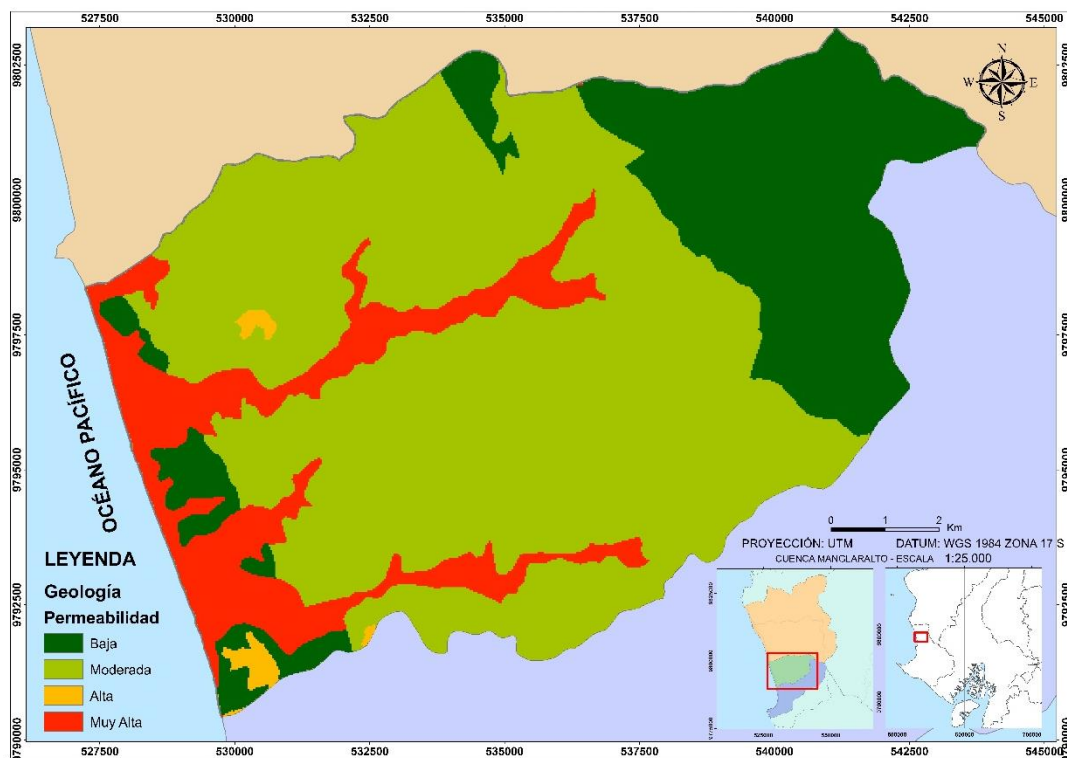


Figura 4. 8 Mapa reclasificación litología.

Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XVII. Valoración usos y coberturas de suelos

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
LULC (LAND USE LAND COVER)	Agrícola (barbecho, limón, maíz, maracuyá, plátano, paja toquilla, pechiche)	3
	Agropecuario mixto (pasto con árboles, misceláneos)	3
	Agua (río doble)	4
	Antrópico (poblados, empresas, parques, cementerio, urbanizaciones, aeropuerto)	1
	Conservación y Protección (Bosques, matorrales)	2
	Conservación y Protección o Pecuario (Vegetación Herbácea)	2
	Pecuario (Pasto cultivado)	3
	Protección o Producción (Caña guadúa o bambú)	3
Tierras Improductivas (playa)	1	

Fuente: Jasrotia et al., 2016.

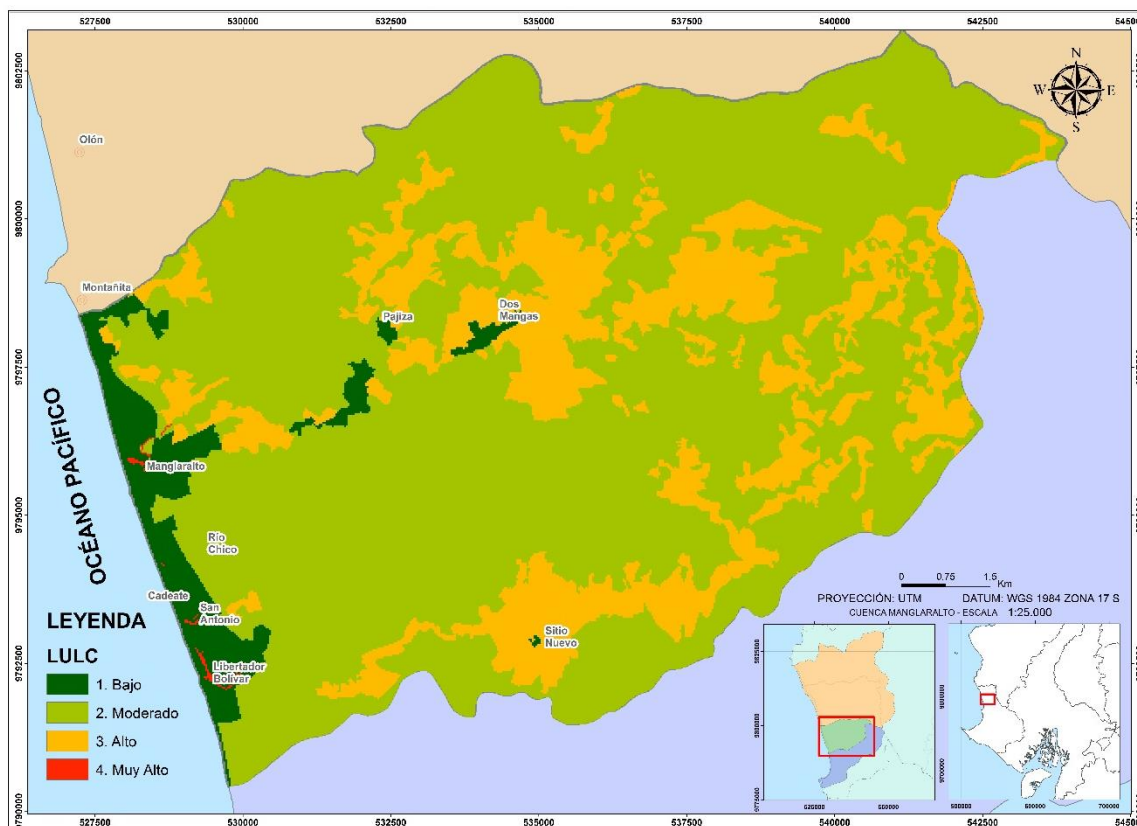


Figura 4. 9 Mapa reclasificación LULC.
Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XVIII. Valoración pendientes

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
PENDIENTES	Débil, plano o casi plano (< 5%)	4
	Inclinación regular, suave o ligeramente ondulada (5-12%)	3
	Irregular, ondulación moderada (12-25%)	2
	Fuertes, colinado (25-50%)	1
	Muy fuertes, escarpado (50-70%)	1
	Abruptas, montañosas (>70%)	1

Fuente: MAGAP, 2002.

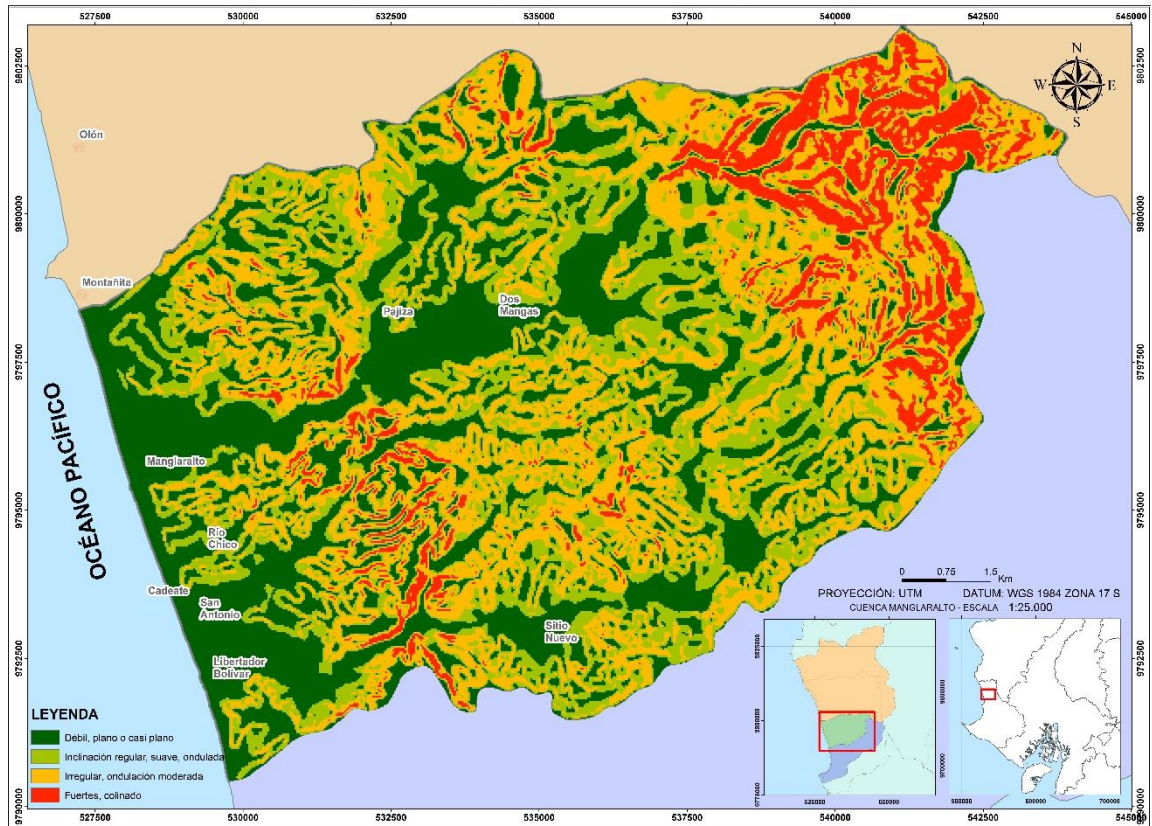


Figura 4. 10 Mapa reclasificación pendientes
Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XIX. Valoración densidad de fallas

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
FALLAS	Bajo (<0.5 km/km ²)	1
	Medio (0.5-1 km/km ²)	3
	Alta (>1 km/km ²)	4

Fuente: Suganthi et al., 2013.

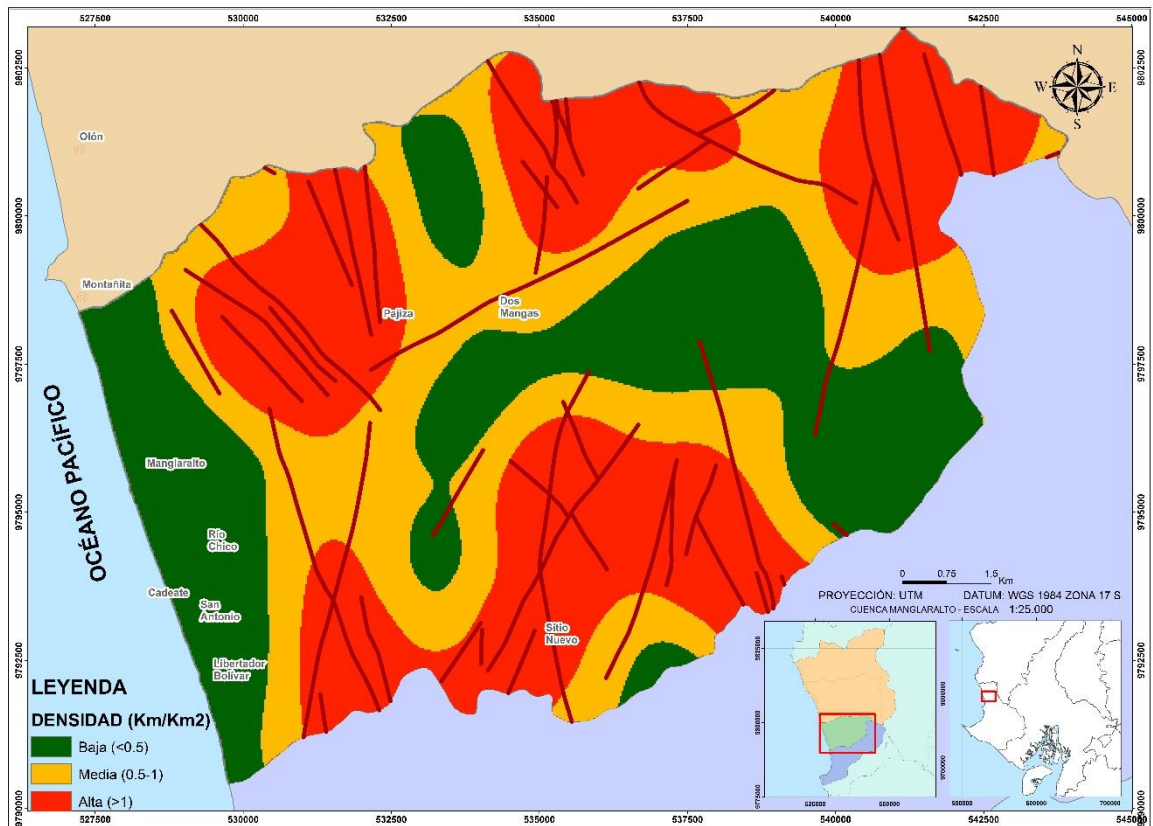


Figura 4. 11 Mapa de reclasificación densidad de fallas
Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XX. Valoración densidad de drenaje

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
DENSIDAD DE DRENAJE	Muy baja (<math>< 1</math>) (km/km ²)	4
	Baja (1-2) (km/km ²)	3
	Moderada (2-4) (km/km ²)	2
	Alta (4-6) (km/km ²)	1
	Muy alta (>6) (km/km ²)	1

Fuente: Shukla, S., 2014.

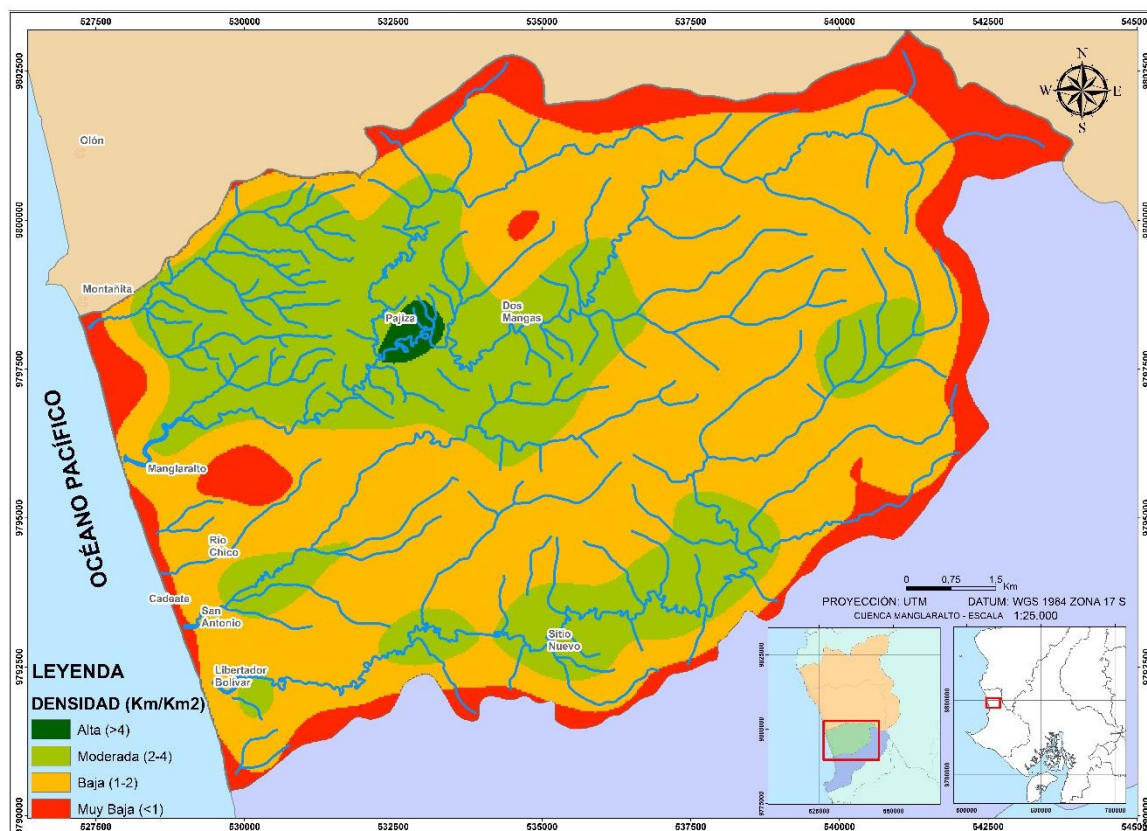


Figura 4. 12 Mapa de reclasificación de densidad de drenaje.
Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XXI. Valoración frecuencia de drenaje

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
FRECUENCIA DE DRENAJE	Muy pobre (<2 ríos/km ²)	4
	Pobre (2-5 ríos/km ²)	3
	Moderada (5-10 ríos/km ²)	2
	Alta (10-20 ríos/km ²)	1
	Muy alta (>20 ríos/km ²)	1

Fuente: Shukla, S., 2014.

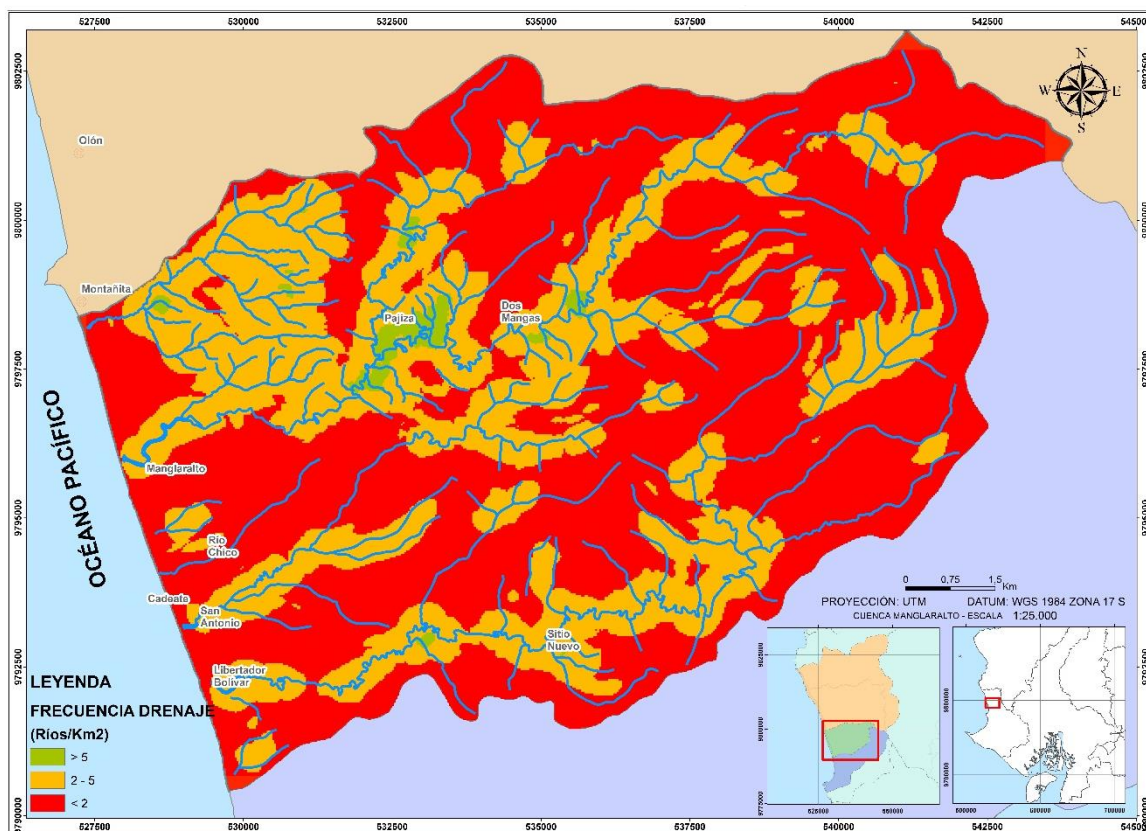


Figura 4. 13 Mapa de reclasificación frecuencia de drenaje
Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XXII. Valoración precipitaciones

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
PRECIPITACIONES	Precipitación escasa (<250 mm)	1
	Precipitación ligera (250-500 mm)	2
	Precipitación moderada (500-1000 mm)	3
	Precipitación fuerte (1000-2000 mm)	4

Fuente: Ereño, C., Nuñez, S., 2006.

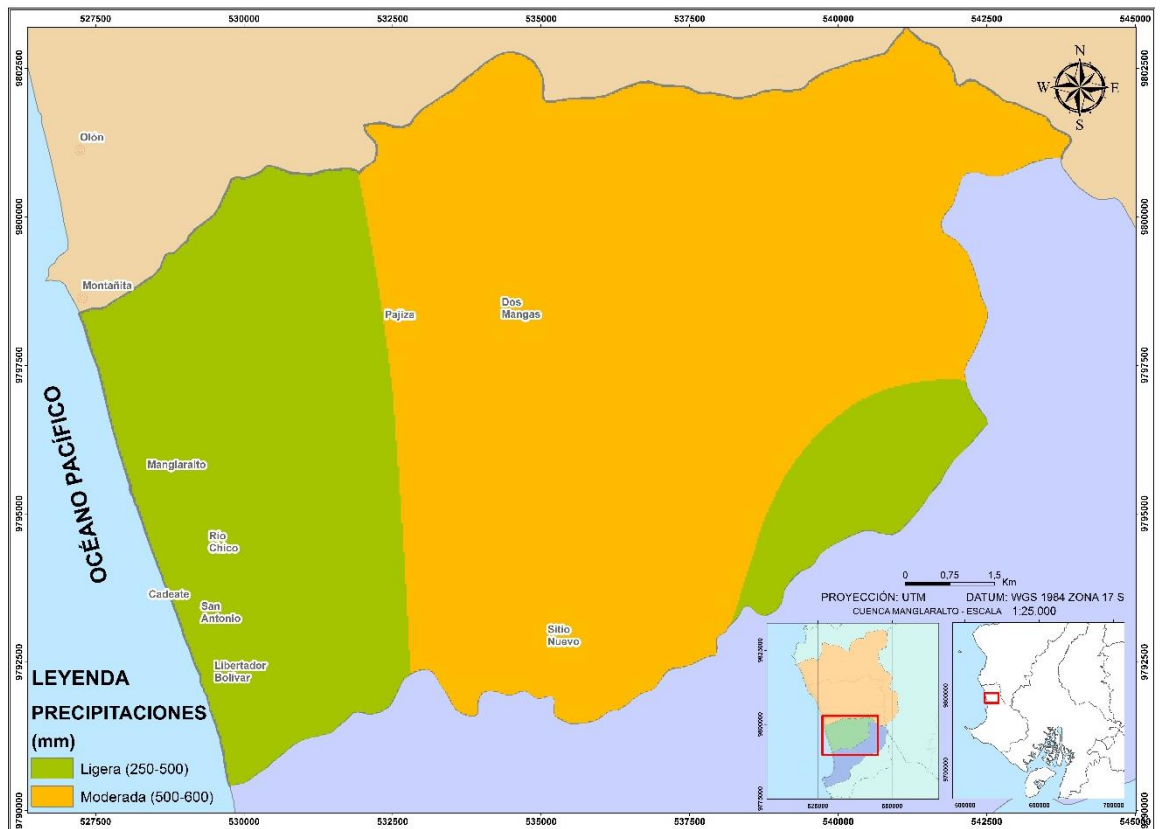


Figura 4. 14 Mapa reclasificación precipitaciones.

Fuente: Valencia, J., 2017.

4.1.3.2. Ponderaciones de los valores asignados

Para poder sumar o combinar todos los parámetros reclasificados, se les tiene que asignar pesos según su grado de importancia en el proceso de infiltración de agua superficial que alimente posibles aguas subterráneas. Por lo que los parámetros que tengan mayor importancia en este sentido, tendrán un mayor peso.

Para la determinación de estos pesos según los criterios dados, en este trabajo se empleó el Método de Jerarquización Analítica de Saaty, (1980), explicado según Coello et, al., 2015 y tomado de Abril (2011), en el que explica que es un procedimiento de comparación por pares de criterios.

El método consiste de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está dada por el número total de parámetros que se vaya a ponderar, estableciendo así, una matriz en la que se comparará la importancia de cada uno de los parámetros entre ellos.

El procedimiento empieza determinando la importancia relativa del parámetro de cada fila en relación al parámetro de su respectiva columna, de acuerdo a la **Tabla XXIII** de Ramírez, (2004), así, se completa el triángulo superior derecho de la matriz, los valores del triángulo inferior izquierdo serán los valores inversos a los de las celdas respectivas. Luego, es preciso sumar cada

columna, y a estos valores expresarlos en cantidades entre 0 y 1 (Tabla XXIV).

Tabla XXIII. Valoración Saaty

Valor a_{ij}	Cuando el parámetro i , al compararlo con j , es
1	Igualmente importante
3	Ligeramente más importante
5	Notablemente más importante
7	Demostablemente más importante
9	Absolutamente más importante

Fuente: Ramírez, M., 2004.

Tabla XXIV. Ponderación de parámetros según “Jerarquización Analítica de Saaty”.

	LITOLOGÍA	LULC	PENDIENTES	DENSIDAD DE FALLAS	DENSIDAD DE DRENAJE	FRECUENCIA DE DRENAJE	SUMA	PONDERACIÓN	
	1	2	3	4	5	6			
LITOLOGÍA	1	1	3	5	5	7	7	28.00	0.40
LULC	2	0.3	1	3	3	5	5	17.33	0.25
PENDIENTES	3	0.2	0.3	1	3	3	3	10.53	0.15
DENSIDAD DE FALLAS	4	0.2	0.3	0.3	1	3	3	7.87	0.11
DENSIDAD DE DRENAJE	5	0.1	0.2	0.3	0.3	1	1	3.01	0.04
FRECUENCIA DE DRENAJE	6	0.1	0.2	0.3	0.3	1	1	3.01	0.04
								69.75	1.00

Fuente: Valencia, J., 2017.

4.1.3.3. Generación del mapa de las zonas potenciales de aguas subterráneas

Para la realización del mapa de zonas con potencial de aguas subterráneas de los factores condicionantes, se suman todos los rasters una vez reclasificados y ponderados usando la tabla de jerarquización de Saaty (1980), con la herramienta de Weighted Sum, utilizando las ecuaciones que se muestran a continuación:

Mapa de los Factores Condicionantes

$$\begin{aligned} &= \text{Litología} * 0,40 + \text{LULC} * 0,25 \\ &+ \text{Pendientes} * 0,15 \\ &+ \text{Densidad de fallas} * 0,11 \\ &+ \text{Densidad de drenaje} * 0,04 \\ &+ \text{Frecuencia de ríos} * 0,04 \end{aligned}$$

Por último para la elaboración del mapa final se le asignó una ponderación de 60% para todos los factores condicionantes y 40% para la precipitación como único factor desencadenante, según su influencia en el grado de potencialidad

para la acumulación de agua subterránea, en base a criterios del autor.

4.2. Trabajo de Campo

4.2.1. Reconocimiento de Campo

El reconocimiento de campo consistió en recorrer la zona de estudio especialmente las subcuencas del río Manglaralto, Cadeate y Libertador Bolívar con la finalidad de describir y tomar datos in situ de las formaciones geológicas observadas, para su posterior correlación con los sondeos eléctricos verticales y tomar datos de niveles en los pozos de la JAAPMAN.

4.2.1.1. Subcuenca río Manglaralto

Geológicamente se encuentra sobre depósitos aluviales cuaternarios, cubiertos por una capa de suelo limo-arenoso seca. Al sur se caracteriza por tener llanuras con pendientes regulares a irregulares, pero en general se encuentra al nivel del mar. Además en esta comuna se desarrolla mucha actividad agrícola y además presenta escasa vegetación arbustiva.

4.2.1.2. Subcuenca río Cadeate

Los aluviales de los alrededores de la comuna Cadeate tienen muy alta potencialidad de aguas subterráneas, por lo que tienen un muy alto interés hidrogeológico.

Estos depósitos aluviales están formados por gravas y arenas gruesas cubiertos por suelos limo arenosos. Se encuentra al nivel del mar con algunos terrenos irregulares. La vegetación es arbustiva y no se desarrolla mucha actividad agrícola en esta comuna, debido a la escasez de agua.

4.2.1.3. Subcuenca río Simón Bolívar

Los alrededores de la comuna Libertador Bolívar se encuentran en la parte baja de la cuenca, en la zona más seca, lejos de la cordillera Chongón Colonche donde las escasas precipitaciones impiden la infiltración del agua superficial aunque las condiciones externas del terreno sean favorables para la recarga.

Esta zona se encuentra sobre depósitos aluviales, cubiertos por una capa de suelo limo-arenoso seca. Al sur se caracteriza por tener llanuras con pendientes

regulares a irregulares, pero en general se encuentra al nivel del mar. Además en esta comuna no se desarrolla mucha actividad agrícola o pecuaria, y presenta escasa vegetación arbustiva.

4.2.2. Prospección geoelectrica

Para la campaña de prospección geoelectrica se realizaron 40 sondeos eléctricos verticales (SEV) distribuidos en las tres subcuencas de la cuenca de Manglarlato. Doce sondeos se realizaron en los aluviales de la subcuenca baja del río Manglaralto y 3 en los de la parte alta de la cuenca cerca de la comuna Dos Mangas. En los aluviales de la subcuenca del río Cadeate se tomaron 16 sondeos, y finalmente en la subcuenca del río Simón Bolívar se realizaron 9 sondeos en la parte media y baja.

El equipo utilizado fue el TERRAMETER SAS 1000 de precisión 1% (**Figura 4. 15**). Este dispositivo envía corriente eléctrica a través de dos electrodos (AB) que se colocan en la superficie del terreno y la diferencia de potencial es medida por los electrodos MN, calculando así la resistividad de los sedimentos y rocas del subsuelo. Con estas lecturas de potencial se realizan las gráficas de resistividades aparentes para cada

sondeo, a través del Software IPI2WIN, el cual grafica en el eje de las abscisas la mitad de la distancia entre los electrodos AB es decir $AB/2$, y en el eje de las ordenadas los valores de resistividades, obteniendo así, la curva de las resistividades aparentes en la cual se definen las distintas capas geoelectricas, según las características propias de los sedimentos y rocas de la zona de estudio analizada en la campaña de campo previa.



Figura 4. 15 Resistímetro
TERRAMETER SAS 1000
Fuente: CIPAT-ESPOL E.P.
2015.

Una vez realizada las medidas de campo para el SEV, se procede a la interpretación utilizando el software libre IPI2WIN, que ofrece una salida gráfica, como es el caso de la **Figura 4. 16** y que corresponde al sondeo MA-01.

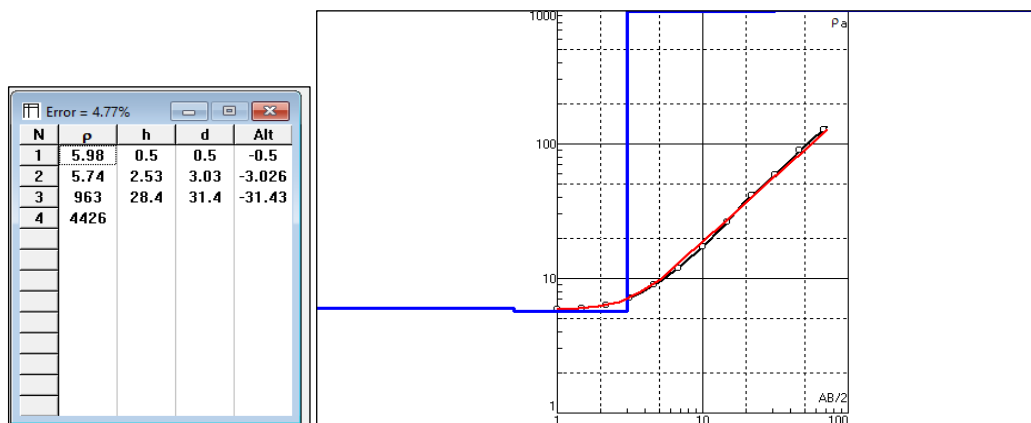


Figura 4. 16 Procesamiento SEV MA-01, utilizando software IPI2WIN
Fuente: Arévalo, M., 2016.

Tabla XXV. Tabla de resultados e interpretaciones del SEV MA-01

N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo arenoso	0.5	0.5	5.98
2	Material poco permeable (limo-arenoso)	2.53	3.03	5.74
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	28.4	31.43	963
4	Basamento			4426

Fuente: Modificado de Arévalo, M., 2016.

Considerando un ajuste, con un error menor al 5%, el resultado es un modelo geoelectrico que tiene una correspondencia con la geología del sector, y que para el caso mencionado en la figura anterior, la interpretación final del mismo se presenta en la **Tabla XXV**. Este proceso se realiza con los 40 sondeos detallados en las **Tabla XXVI**, **Tabla XXVII** y **Tabla XXVIII**, y que constan todos sus datos tomados en campo, en las tres

subcuencas en el **Anexo A** y las interpretaciones y columnas geoelectricas en el **Anexo B** de este trabajo.

4.2.2.1. SEVs subcuenca río Manglaralto

En la subcuenca del río Manglaralto, Arevalo, (2016) realizó 14 sondeos eléctricos verticales entre la comuna de Manglaralto y Pajiza (**Figura 4. 17**). Además CIPAT ESPOL. E.P, (2015) realizó 3 sondeos más en la cuenca alta del río, cerca de la comuna Dos Mangas. La **Figura 4. 18** muestra los sitios donde se realizaron los SEVs en la subcuenca de Manglaralto.



Figura 4. 17 Realización SEVs subcuenca Manglaralto

Fuente: Arevalo, M., 2016.

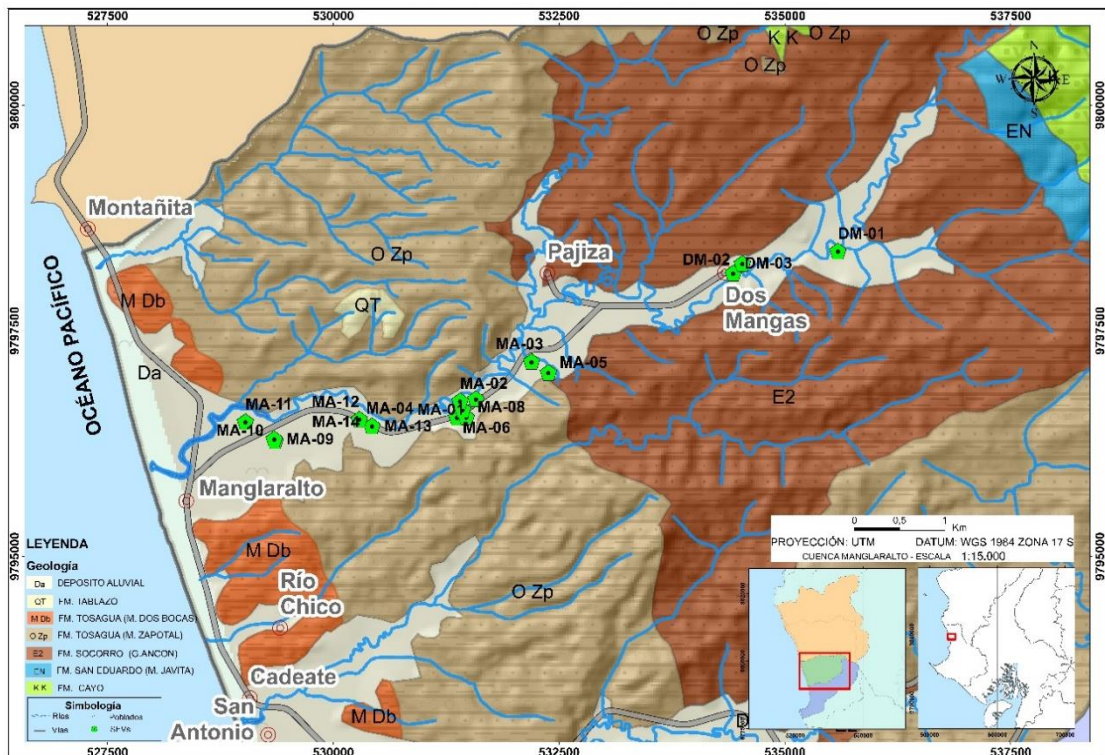


Figura 4. 18 SEVS subcuena del río Manglaralto

Fuente: Valencia, J., 2017.

De los 12 sondeos realizados por Arévalo, (2016), en los aluviales de la cuenca Baja del río Manglaralto, los sondeos 1, 2, 5 y 8 fueron realizados con una abertura AB/2 de 68,1 metros, mientras que los restantes y los realizados por el CIPAT-ESPOL E.P, (2015) en la cuenca alta del río, cerca de la comuna Dos Mangas, se realizaron a una abertura de AB/2 de 100 metros, excepto el DM-03 que también se realizó a una abertura de 68,1 metros, esta abertura depende, como ya se

mencionó de las características propias de la zona de estudio.

Todos los sondeos fueron realizados sobre los depósitos aluviales del río Manglaralto, que se encuentran sobre las areniscas de la Formación Zapotal y las lutitas de la Formación Socorro del Grupo Ancón, cuyos estratos arcillosos servirían como sellos del acuífero.

Las ubicaciones de todos los SEVs realizados en la cuenca de Manglaralto se muestran en la **Tabla XXVI**.

Tabla XXVI. Coordenadas SEVs subcuenca de Manglaralto

SEV	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
MA-01	531580	9796747	31
MA-02	531404	9796725	29
MA-03	532195	9797160	33
MA-04	530428	9796448	20
MA-05	532382	9797039	45
MA-06	531433	9796630	30
MA-07	531369	9796543	31
MA-08	531473	9796546	32
MA-09	529345	9796304	14
MA-10	529356	9796283	14
MA-11	529027	9796495	10
MA-12	530289	9796522	21
DM-01	535587	9798385	71
DM-02	534530	9798247	63
DM-03	534429	9798140	61

Fuente: Arévalo, M., 2016., CIPAT-ESPOL E.P. 2015.

4.2.2.2. SEVs subcuenca río Cadeate

En la subcuenca del río Cadeate, CIPAT-ESPOL TECH E.P (2015) realizó 8 sondeos eléctricos verticales a lo largo de los aluviales del río Cadeate (**Figura 4. 19**) y Toalombo, M., (2016) realizó 8 sondeos adicionales en la misma zona.

Todos los sondeos fueron realizados a una abertura AB/2 de 100 metros excepto los sondeos 4, 5 y 6 que se realizaron a una abertura AB/2 de 147 metros, porque las condiciones del terreno lo permitieron. En la **Figura 4. 20** se muestran las ubicaciones de los diferentes sitios donde se realizaron los SEVs en la subcuenca del río Cadeate y en la **Tabla XXVII** se muestran sus respectivas coordenadas.



Figura 4. 19 Realización SEVs subcuenca Cadeate
Fuente: CIPAT-ESPOL TECH E.P. 2015.

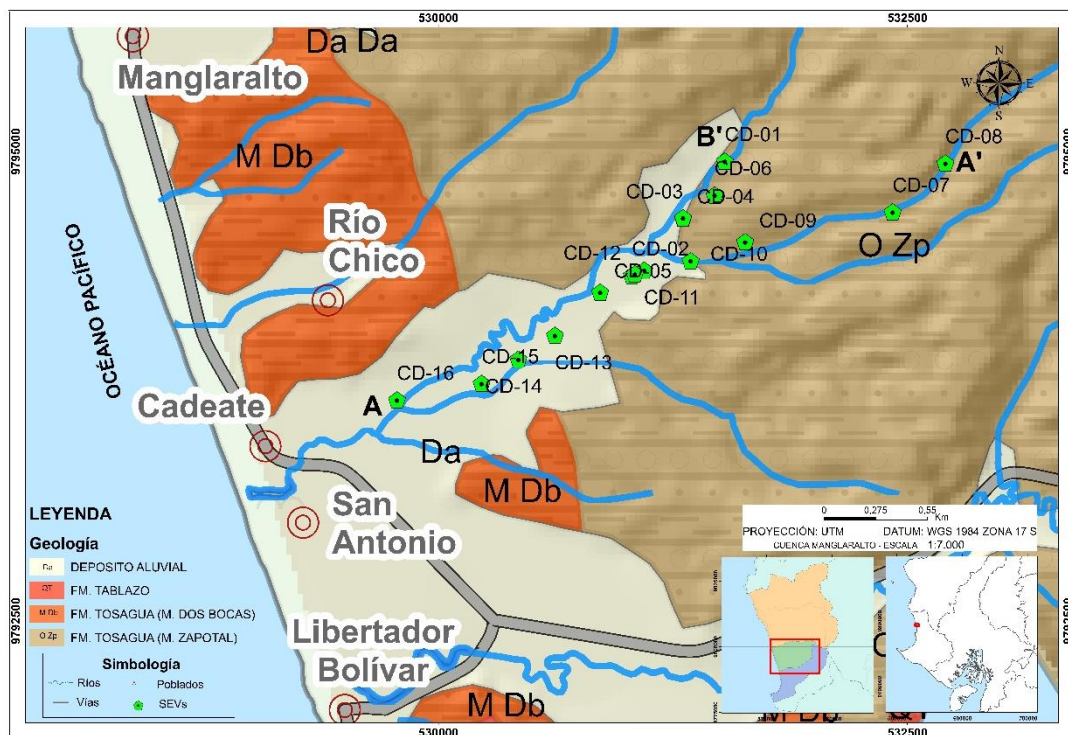


Figura 4. 20 SEVs subcuenca río Cadeate.
Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XXVII. SEVs subcuenca río Cadeate

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

Fuente: CIPAT–ESPOL E.P., 2015., Toalombo, M., 2016.

4.2.2.3. SEVs subcuenca Simón Bolívar

En la subcuenca media y baja del río Simón Bolívar, CIPAT-ESPOL TECH E.P (2015) realizó 6 sondeos eléctricos verticales a lo largo de los aluviales y Toalombo, M., (2016) realizó 3 sondeos adicionales en la misma zona (**Figura 4. 21**). De los cuales todos fueron realizados a una abertura AB/2 de 100 metros, exceptuando a los sondeos 2 y 3 que fue a 46,4 metros y el sondeo 5 que se realizó a una abertura AB/2 de 68,1 metros.

En la **Figura 4. 22** se muestran las ubicaciones de los diferentes sitios donde se realizaron los SEVs en la subcuenca del río Simón Bolívar y en la **Tabla XXVIII** se muestran sus respectivas coordenadas.



Figura 4. 21 Realización SEVs subcuenca Simón Bolívar
Fuente: Toalombo, M., 2016.



Figura 4. 22 SEVs subcuena río Simón Bolívar
Fuente: Valencia, J., 2017.

Tabla XXVIII. SEVs subcuena río Simón Bolívar

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

Fuente: CIPAT-ESPOL E.P., 2015., Toalombo, M., 2016.

4.2.3. Datos de Pozos

En la zona de estudio se realizó un inventario de los pozos, clasificados según la subcuenca a la que pertenecen y sus ubicaciones se muestran en la **Figura 3. 12**.

Para los de la subcuenca del río manglaralto, se utilizaron los datos de pozos tomados por Arévalo (2016) y confirmados luego con la JAAPMAN, donde existen 12 pozos perforados, 2 pozos someros alimentadores y 2 pozos en la comuna Dos Mangas, que se muestran en la **Tabla XXIX**

Tabla XXIX. Ubicación pozos subcuenca Manglaralto.

POZOS	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
P1	528948	9796642	17
P2	528961	9796628	17
P3	529164	9796335	16
P4	529243	9796252	16
P5	529538	9796360	22
P6	529561	9796513	17
P7	530150	9796584	24
P8	530582	9796348	29
P9	530929	9796418	22
P10	530390	9796411	26
P11	531594	9796770	29
P12	532000	9797019	32
P13	534433	9798244	64
P14	535292	9798421	62
PSA1	529573	9796577	13
PSA2	531284	9796598	21

Fuente: Valencia, J., 2017., Arévalo, M., 2016.

En Cadeate no se tienen registros de pozos. Sin embargo en la comuna Libertador Bolívar existe un pozo perforado por la JAAPMAN actualmente fuera de servicio, y en Sitio Nuevo existen tres pozos artesanales, y solo está en funcionamiento uno de ellos. Las ubicaciones de los pozos en funcionamiento se muestran en la **Tabla XXX**.

Tabla XXX. Ubicación pozos subcuenca río Simón Bolívar

POZOS	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
P15	535114	9792875	42
P16	531668	9792195	16

Fuente: Valencia, J., 2017.

4.2.3.1. Inventario de Pozos

Finalmente se realizó un inventario de pozos mostrado en la **Tabla XXXI**, donde se obtuvo un nivel freático promedio para cada pozo de la JAAPMAN (1-12) en el segundo trimestre del año 2016 y para los pozos de Dos Mangas y Sitio Nuevo se consideró el nivel freático referencial de junio del 2017.

Tabla XXXI. Inventario de pozos cuenca Manglaralto

POZO	SECTOR	COORDENADAS		ALTURA (msnm)	Profundidad (m)	N.F. (m)
		X	Y			
P1	Manglaralto	528948	9796642	17	27.00	10.11
P2	Manglaralto	528961	9796628	17	27.50	10.33
P3	Manglaralto	529164	9796335	16	22.30	12.37
P4	Manglaralto	529243	9796252	16	31.00	14.09
P5	Manglaralto	529538	9796360	22	23.20	15.01
P6	Manglaralto	529561	9796513	17	30.00	13.54
P7	Manglaralto	530150	9796584	24	29.20	12.44
P8	Manglaralto	530582	9796348	29	28.70	12.75
P9	Manglaralto	530929	9796418	22	50.00	17.32
P10	Manglaralto	530390	9796411	26	29.00	11.65
P11	Manglaralto	531594	9796770	29	29.00	11.43
P12	Manglaralto	532000	9797019	32	28.00	9.30
P13	Dos Mangas	534433	9798244	64	6.50	2.56
P14	Dos Mangas	535292	9798421	62	3.00	1.00
P15	Sitio Nuevo	535114	9792875	42	9.00	1.80
P16	Sitio Nuevo	531668	9792195	16	18.00	8.65

Fuente: Valencia, J., 2017.

4.3. Balance Hídrico del suelo de la cuenca de Manglaralto

Se realizó un balance hídrico del suelo por el método de Thornthwaite, para estimar la cantidad de humedad del suelo, y evaluar su déficit o exceso, ya que esta humedad se va perdiendo mes a mes durante el periodo de estiaje (caudal mínimo), debido a la escasez de precipitaciones en la época seca.

Para este análisis se consideraron los flujos de entrada y de salida al sistema. Se tomaron como entradas principalmente a las precipitaciones en el periodo de invierno, y como salidas a la

evapotranspiración, que como se dijo anteriormente es la suma de la evaporación directa desde el suelo y la transpiración de las plantas.

Se utilizaron datos del promedio normal mensual de la temperatura del aire de la estación “La Libertad” del INOCAR en el cantón Salinas, y las series pluviométricas para el periodo 2000-2015, de la estación meteorológica M016 del INAMHI en la comuna de Manglaralto, para la estimación del balance hídrico del suelo.

Se utilizó el método directo, ya que tiene la ventaja de necesitar pocos parámetros de entrada, teniendo buenos resultados, tanto como para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), como para la estimación del balance hídrico.

El método de Thornthwaite estima la ETP a partir de la media mensual de las temperaturas medias diarias (t), por lo que se calcula el índice de calor mensual i , a partir de la expresión siguiente:

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

Con esta fórmula se puede obtener el índice de calor anual para 30 días con 12 horas de sol diarias: $(I) = \sum i$.

Por tanto el cálculo de la estimación de la ETP, utilizando este método viene dado por:

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

Siendo a estimada en términos de I :

$$a = 675 \cdot 10^{-9}I^3 - 771 \cdot 10^{-7}I^2 + 1972 \cdot 10^{-5}I + 0.49239$$

Se tiene que corregir esta fórmula dependiendo del número verdadero de días del mes y de horas de sol. Para este caso se utilizará la latitud de la ciudad de Guayaquil, que es aproximadamente 2 grados de latitud Sur según Doorenbos y Pruitt, 1977.

$$\text{ETP corr.} = K \cdot \varepsilon$$

$$K = \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

Donde N representa el número máximo de horas de sol y d , el número de días que tiene el mes.

Se tienen los siguientes resultados de la **Tabla XXXII** a partir de los datos de temperatura y precipitaciones media mensual proporcionados por el INOCAR y el INAMHI respectivamente:

Tabla XXXII. Cálculo de la ETP mensual mediante la fórmula de Thornthwaite.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
temp	25.6	26.6	26.6	25.9	24.9	23	22	21.3	21.6	22.1	22.7	24.1	286.40
i	11.85	12.56	12.56	12.06	11.37	10.08	9.42	8.97	9.16	9.49	9.88	10.82	128.23
ETP sin corr	122.6	137.3	137.3	126.9	113.0	89.4	78.5	71.3	74.3	79.5	86.1	102.6	
nº días mes	30	31	30	31	31	28.25	31	30	31	30	31	31	
nº horas luz	12.1	12.1	12	12	12	12.1	12.1	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	
ETP corr.	123.6	143.0	137.3	131.1	116.8	84.9	81.8	72.5	78.1	80.8	90.4	107.8	1248.3

Fuente: Modificado de CIPAT-ESPOL E.P. 2015.

CAPÍTULO 5
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE
RESULTADOS

5.1. Resultados del mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas

5.1.1. Mapa de potencialidad de zonas acuíferas por los factores condicionantes

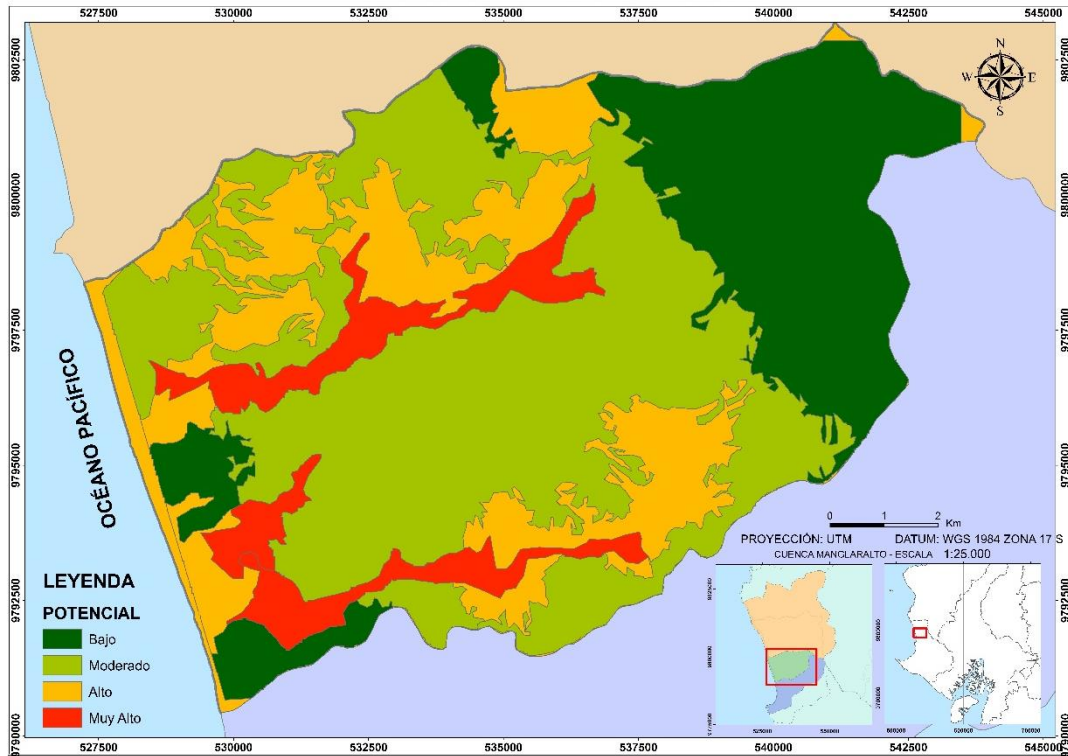


Figura 5. 1 Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas. Factores condicionantes.

Fuente: Valencia, J., 2017.

Para generar este mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas se han tenido en cuenta las condiciones geológicas estructurales (litología y fallas), topográficas (pendientes), usos y coberturas de suelos (LULC) e hidrográficas (ríos). Todos estos parámetros se sumaron con su respectiva ponderación dependiendo de su influencia para almacenar y transmitir el agua subterránea. Las ponderaciones

se midieron del 1 al 4, según su importancia en la capacidad de filtrar el agua superficial para alimentar las aguas subterráneas. El mapa final muestra las zonas con muy alto, alto, moderado y bajo potencial de aguas subterráneas con un área de 10.27, 21.43, 43.05 y 25.80 Km² respectivamente.

Estos resultados muestran que las zonas con mayor potencial para filtrar el agua superficial y alimentar así las aguas subterráneas, considerando las características propias del terreno, se localizan principalmente sobre los aluviales de los tres principales ríos Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar, que como se mencionó anteriormente están compuestos por conglomerados y gravas.

Se observa en la **Figura 5. 1** que solamente un 10.21% de toda la cuenca representa una zona con muy alto potencial de aguas subterráneas. Seguido de un 21.31% alto y un 41.34% de moderado. Las zonas con bajo potencial representan el 25.66 % del total de la cuenca y corresponden sobretodo a las zonas con altas pendientes y los asentamientos humanos.

5.1.2. Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas

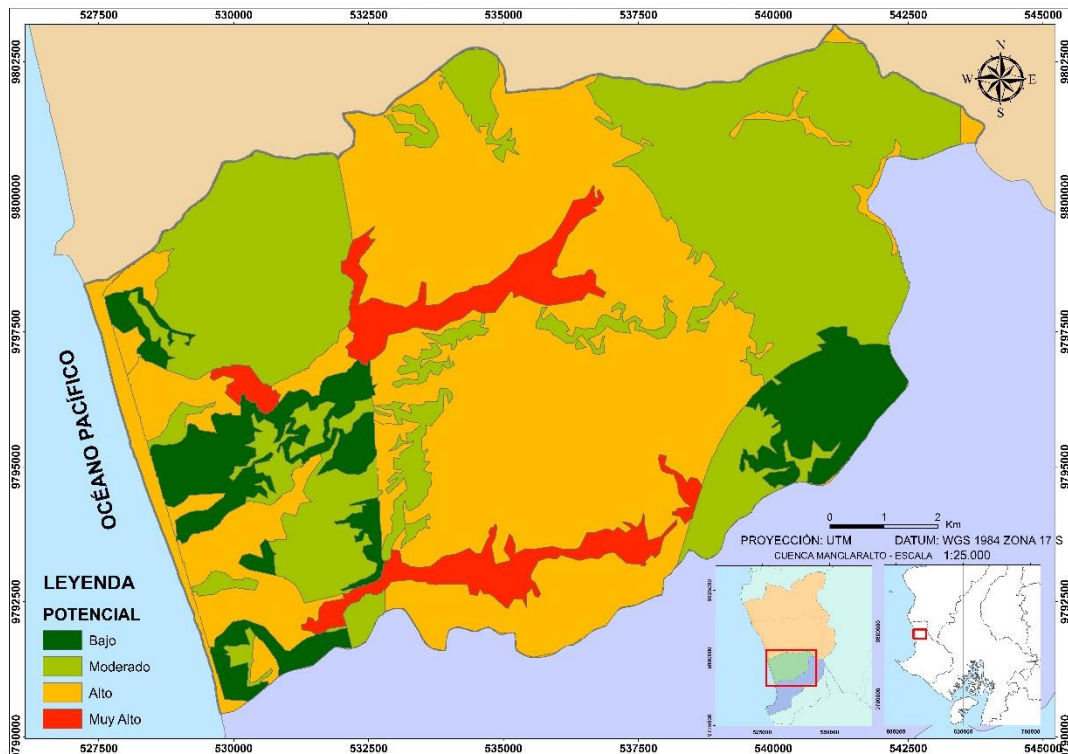


Figura 5. 2 Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas.
Fuente: Valencia, J., 2017.

La demarcación del mapa final de las zonas de mayor potencialidad de aguas subterráneas, fue generado a partir de la integración de la suma de todos los parámetros anteriores, litología, usos y coberturas de suelos, pendientes, fallas y drenaje, con las precipitaciones anuales promedio de la zona, utilizando técnicas de sensores remotos, después de haberles asignado una ponderación según su grado de influencia en la infiltración de aguas subterráneas desde la superficie.

El mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas (**Figura 5. 2**), considerando las precipitaciones de la zona como las potenciadoras de acumulación de agua subterránea, se ha dividido también en 4 categorías, muy alto, alto, moderado y bajo potencial. El mapa muestra que las zonas con muy alto potencial de aguas subterráneas se encuentran en la cuenca alta del río Manglaralto y del río Simón Bolívar, ya que es donde existen una precipitación media anual de 500 mm, mientras que en la cuenca baja existen precipitaciones anuales promedio de 350–400 mm, lo que la hace una zona semidesértica, ya que la evapotranspiración potencial supera los 1200 mm.

Además las zonas con muy alto potencial, coinciden también con ser depósitos aluviales, zonas de cultivos, tener pendientes bajas y tener una alta densidad de fallas que son los parámetros más influyentes de acuerdo a la tabla de ponderación realizada por el método de jerarquización analítica de Saaty.

En la **Figura 5. 2** Error! No se encuentra el origen de la referencia. se observa que cerca del 6,38% de la zona de estudio posee un muy alto potencial de aguas subterráneas, 46,47% corresponde a zonas de alto potencial, 37,5% moderado y 9,65% bajo potencial.


5.2. Resultados de la Campaña de Campo

5.2.1. Prospección Geofísica

Como se indicó anteriormente los datos de los Sondeos Eléctricos Verticales, fueron procesados en el software IPI2WIN, el cual al ingresarle los datos y el método sugerido, realiza un ajuste entre la curva con los valores de campo y la curva modelo que más se ajuste con un máximo de error del 5%. Los valores de resistividades y profundidades de la curva resultante se correlacionaron con la geología del sector y se obtiene la columna geoelectrica para cada sondeo, y se definió la capa con mayor interés hidrogeológico.

Según trabajos anteriores del CIPAT-ESPOL se elaboró una tabla de resistividades de los materiales (**Tabla XXXIII**), correlacionando con la experiencia de campo en el sector y acorde a su permeabilidad. La interpretación se corresponde con la geología de la zona.

Tabla XXXIII. Interpretaciones capas geoelectricas SEVs

Capas Geoelectricas	Resistividad (Ωm)	Simbología
Suelo areno-limoso	30 – 55	
Material muy poco permeable (arcillas)	0 – 3	
Material poco permeable (limo-arcillas)	3 – 5	
Material semipermeable (limo-arenoso)	5 – 25	
Material semipermeable (areno-limoso)	25 – 80	
Material muy permeable (gravas y arena)	50 – 1000	
Material muy permeable más cercano a la costa (cuña salina)	0 – 10	
Basamento	≥ 1000	

Fuente: Valencia, J., 2017.

5.2.2. Perfiles Geoelectricos

Con la interpretación de las capas geoelectricas definidas a ciertas profundidades según sus valores de resistividad, se realizaron perfiles geoelectricos a lo largo de las tres subcuencas estudiadas, con el fin de comprender las unidades hidrogeológicas y estimar las dimensiones de sus acuíferos.

5.2.2.1. Depósitos Aluviales de la subcuenca del río Manglaralto

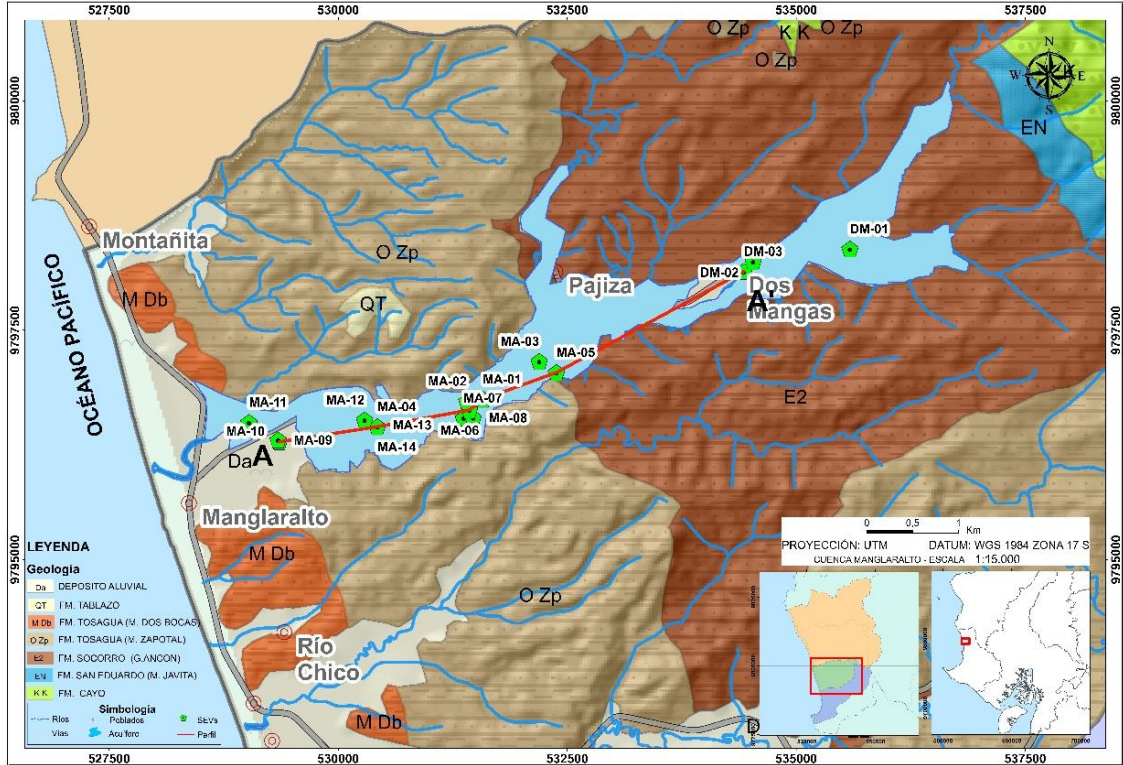


Figura 5. 3 Ubicación del perfil geoelectrico subcuenca Manglaralto

Fuente: Valencia, J., 2017.

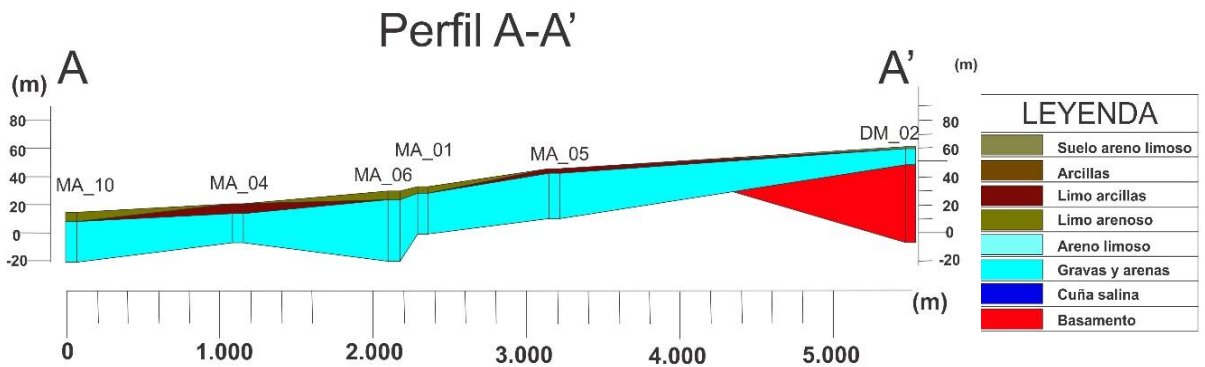


Figura 5. 4 Perfil geoelectrico subcuenca Manglaralto

Fuente. Valencia, J., 2017.

La **Figura 5. 4**, muestra la disposición de las capas del suelo hasta aproximadamente los 20 metros de profundidad, medidos desde el nivel del mar. Se ha considerado a las capas de material muy permeable de gravas y arenas, como las más probables o potenciales de aguas subterráneas.

Se correlacionaron los sondeos eléctricos verticales 1, 4, 5, 6 y 10 de Manglaralto con el sondeo 3 de Dos Mangas, de acuerdo a su posición, y se observa que todos ellos tienen altas probabilidades de aguas subterráneas. Sin embargo el sondeo 10, al encontrarse más cercano a la costa, posee valores de resistividades más bajos que los demás indicando presencia de agua con mayor cantidad de sales disueltas que los que se encuentran más alejados de la costa.

Se observa que el acuífero es libre y poroso desde la costa pacífica hasta cerca del sondeo 5 donde se comporta ligeramente como semiconfinado, ya que el espesor de la capa acuífera disminuye hasta la comuna Dos Mangas. Se muestra también que el nivel freático se encuentra

aproximadamente por debajo de los 10 metros de profundidad medidos desde la superficie del suelo, donde ocurre el cambio de material semipermeable seco (limoarenas) y la capa de material permeable saturado (gravas y arenas) que sería donde se encuentra el reservorio de aguas subterráneas. Para todos estos sondeos probablemente la capa de gravas continúe hasta llegar al sello general que serían los estratos arcillosos y las lutitas de la Formación Zapotal y Socorro subyacente.

Cálculo referencial de la capacidad acuífera ideal del acuífero:

Utilizando este perfil, se puede estimar la capacidad acuífera de la capa de gravas y arenas definida por los límites de los perfiles geoelectrónicos elaborados hasta una profundidad de investigación promedio máxima de 30 metros de acuerdo a los SEVs interpretados.

Este cálculo se realiza utilizando el área superficial de las zonas potenciales acuíferas en los aluviales

del río Manglaralto definidas en el mapa elaborado en la **Figura 5. 3**, y el espesor promedio de las secciones definidas como permeables en los perfiles geoelectricos correlacionados, que corresponderían a la capa de gravas y arenas saturadas y finalmente se multiplicará por la porosidad de la capa acuífera para obtener el volumen o capacidad máxima del acuífero mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{Espesor promedio} \times \text{Área superficial} \\ \times \text{porosidad}$$

En este caso se puede estimar que la capa acuífera en Dos Mangas tiene una potencia promedio de aproximadamente 2.97 metros y desde Pajiza hasta Manglaralto 17.05 metros, y el área superficial de las zonas potenciales acuíferas en los aluviales del río Manglaralto calculadas en ArcGis 10.3 es de 1'470.940 y 2'641.361 m² respectivamente. Se considerará un valor de porosidad promedio para las gravas y arenas, definidas según las interpretaciones realizadas en

los SEVs para esta capa, de 0.20 según estudios anteriores realizados por el CIPAT-ESPOL TECH E.P, 2015.

Con todo lo anterior reemplazando los valores en la ecuación anterior se pueden estimar la capacidad acuífera de las capas permeables:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= (2'641.361 \times 23.54 \times 0.20) + (1'940 \\ &\quad \times 3 \times 0.20) = 13'318.091 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cálculo referencial de la capacidad acuífera real del acuífero:

Se realizó una correlación de los niveles piezométricos de los 12 pozos de la JAAPMAN en el segundo trimestre del año 2016, y de 2 pozos de la comuna Dos Mangas y otros dos de Sitio Nuevo en junio de 2017, con los sondeos eléctricos verticales realizados en la cuenca de Manglaralto. Para esto se elaboró el mapa de Isopiezas **(Figura 5. 5)** con los niveles piezométricos de los pozos que se muestran en la **Tabla XXXIV**.

Tabla XXXIV. Tabla niveles piezométricos pozos, cuenca Manglaralto

POZO	X	Y	Z	Prof. Pozo	Nivel Freático	Nivel Piezométrico
P1	528948	9796642	17	27.00	10.11	6.89
P2	528961	9796628	17	27.50	10.33	6.67
P3	529164	9796335	16	22.30	12.37	3.63
P4	529243	9796252	16	31.00	14.09	1.91
P5	529538	9796360	22	23.20	15.01	6.99
P6	529561	9796513	17	30.00	13.54	3.46
P7	530150	9796584	24	29.20	12.44	11.56
P8	530582	9796348	29	28.70	12.75	16.25
P9	530929	9796418	22	50.00	17.32	4.69
P10	530390	9796411	26	29.00	11.65	14.36
P11	531594	9796770	29	29.00	11.43	17.57
P12	532000	9797019	32	28.00	9.30	22.70
P13	534433	9798244	64	6.50	2.56	61.44
P14	535292	9798421	62	3.00	1.00	61.00
P15	535114	9792875	42	9.00	1.80	40.20
P16	531668	9792195	16	18.00	8.65	7.35

Fuente: Valencia, J., 2017.

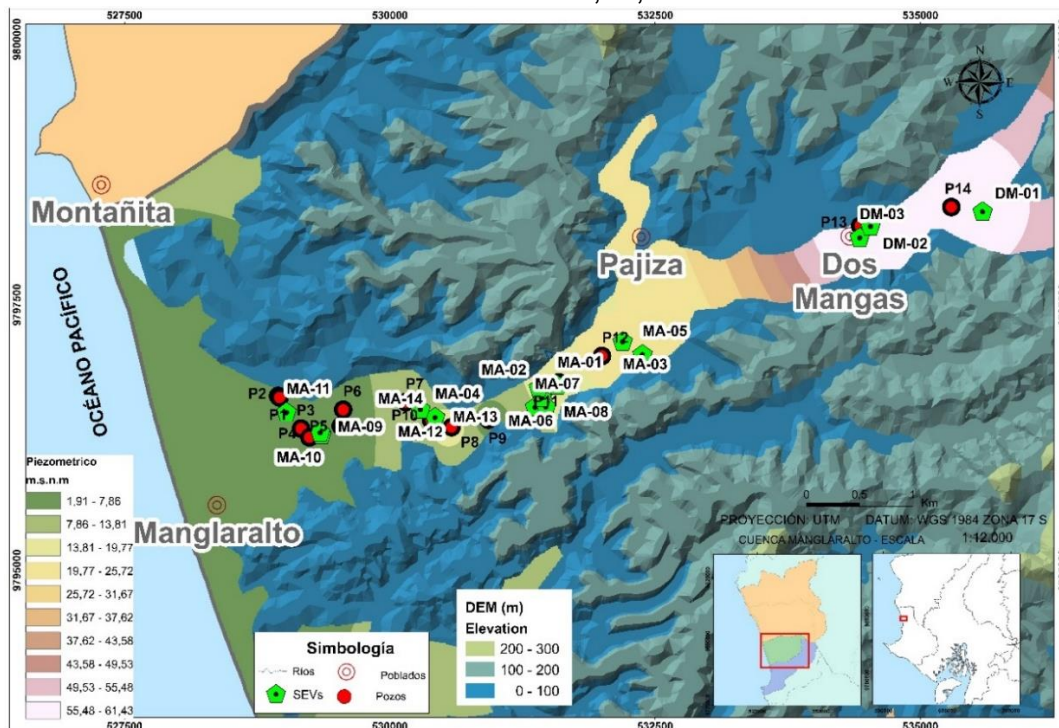


Figura 5. 5 Mapa de isopiezías, subcuenca de Manglaralto

Fuente: Valencia, J., 2017.

Se correlacionó la interpretación geoelectrica con el mapa piezométrico de la **Figura 5. 5** y se estimó el nivel piezométrico para cada sondeo, y con esto se calculó el espesor de la capa acuifera realmente saturada de agua, es decir el espesor medido desde el nivel pizométrico de cada sondeo hasta la profundidad máxima del sondeo. Para los sondeos en Dos Mangas se consideró el espesor real de la capa acuifera de 3 metros, según lo observado en los pozos de la zona.

Tabla XXXV. Niveles piezométricos de los SEVs realizados en la subcuenca de Manglaralto

SEV	X	Y	Z	Nivel Freático (m)	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)	Espesor ideal (m)	Espesor real (m)
MA-01	531580	9796747	31	13.63	17.37	28.4	17.8
MA-02	531404	9796725	29	13.31	15.69	28.6	19.29
MA-03	532195	9797160	33	11.51	21.49	8.46	3.79
MA-04	530428	9796448	20	5.74	14.26	25.3	19.56
MA-05	532382	9797039	45	24.1	20.9	32.2	10.2
MA-06	531433	9796630	30	14.18	15.82	43.1	35.22
MA-07	531369	9796543	31	17.46	13.54	19.4	8.24
MA-08	531473	9796546	32	16.83	15.17	15.3	14.17
MA-09	529345	9796304	14	10.58	3.42	21.9	22.42
MA-10	529356	9796283	14	10.58	3.42	28.8	23.82
MA-11	529027	9796495	10	4.24	5.76	27.2	29.36
MA-12	530289	9796522	21	8.51	12.49	3.9	24.49
DM-01	535587	9798385	71	11.27	59.73	48.46	3
DM-02	534530	9798247	63	1.93	61.07	14.8	3
DM-03	534429	9798140	61	1	60	55.4	3

Fuente: Valencia, J., 2017.

Como los datos de los niveles piezométricos en los 12 pozos de la JAAPMAN muestran una mayor profundidad que los de los pozos de Dos Mangas, la estimación del volumen real del acuífero se calculará para cada sector es decir uno para la cuenca media y baja de Manglaralto y otro para la cuenca alta.

Para este caso la potencia promedio de la capa acuífera realmente saturada es de 19.03 metros para la cuenca media y baja y 2 metros para la cuenca alta, y el área superficial de las dos zonas potenciales acuíferas calculadas en ArcGis 10.3 es de 2'641.361 y 1'470.940 m² respectivamente, y considerando el mismo valor de porosidad promedio para las gravas y arenas se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= [(2'641.361 \times 19.03) + (1'470.940 \times 2)] \\ &\quad * 0,2 = 10'541.395 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cálculo referencial del volumen real de extracción del acuífero

Teniendo en cuenta que los pozos del acuífero de Manglaralto tienen una profundidad de perforación

fija, no se podrá extraer todo el volumen de agua del acuífero, sino solo el que se encuentra desde el nivel freático hasta alcanzar la profundidad de perforación máxima de los pozos.

Por tanto, considerando la profundidad de perforación de cada pozo y conociendo el nivel freático promedio, es posible estimar la cantidad de agua extraíble del acuífero. Según los datos de la **Tabla XXXIV**, el espesor promedio saturado de los 12 pozos de la JAAPMAN es 17.05 metros y de los 2 pozos de Dos Mangas es 2.97 metros, y considerando la misma área superficial definida en este trabajo para el acuífero de Manglaralto de 2'641.361 m² para la cuenca media y baja y 1'470.940 m² para la cuenca alta se tiene un volumen real de extracción de:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= (2'641.361 \times 17.05 \times 0.20) + (1'940 \times 2.97 \\ &\quad \times 0.20) = 9'880.779 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

5.2.2.2. Depósitos aluviales de la subcuenca del río Cadeate

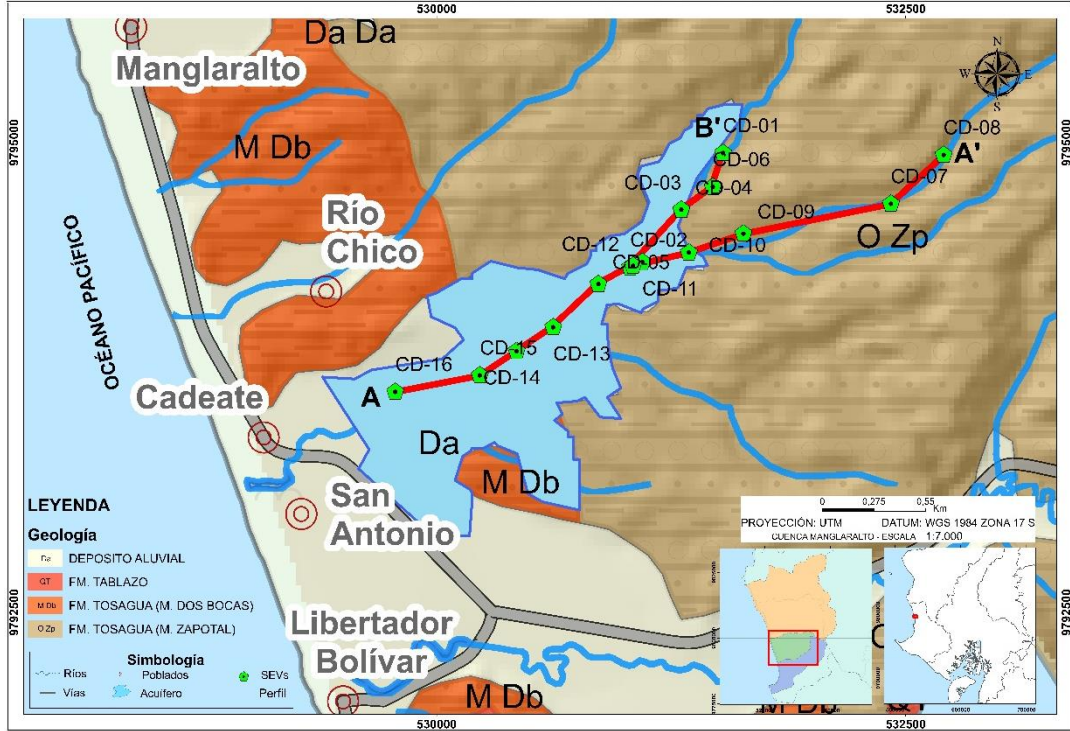


Figura 5. 6 Ubicación perfiles geoelectricos subcuenca de Cadeate. Fuente: Valencia, J., 2017.

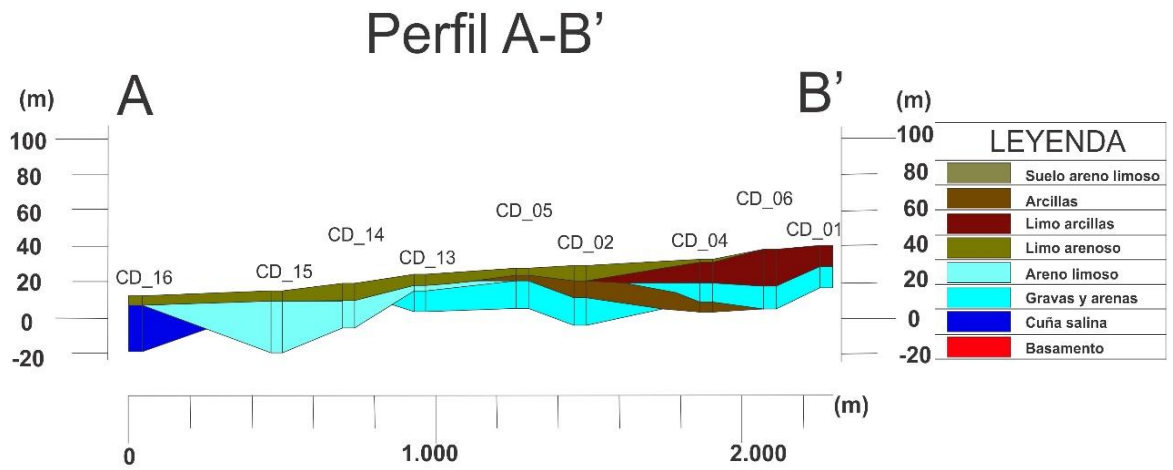


Figura 5. 7 Perfil geoelectrico A-B', subcuenca de Cadeate. Fuente: Valencia, J., 2017. Software RockWorks16.

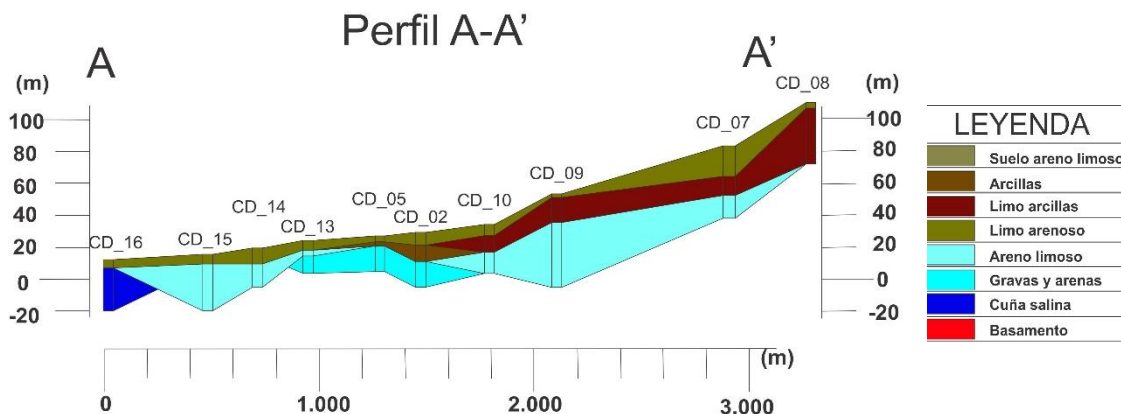


Figura 5. 8 Perfil geoelectrico A-A', subcuenca de Cadeate.
Fuente: Valencia, J., 2017. Software RockWorks16.

La **Figura 5. 8** muestra la disposición de las capas del suelo hasta aproximadamente 20 metros de profundidad, medidos desde el nivel del mar. Se ha considerado a las capas de material muy permeable de gravas y arenas, como las más probables o potenciales de aguas subterráneas.

Se correlacionaron 9 sondeos, de acuerdo a su posición, y se observa que los que tienen mayor probabilidad de aguas subterráneas son los sondeos 1,2, 4, 5, 6 y 13, de los cuales los sondeos 4, 6 y 1, poseen las mayores probabilidades de ser de mejor calidad, debido a que se encuentran muy distanciados de la cuña salina, y presentan valores de resistividad altos,

que indican la presencia de agua dulce con pocas sales disueltas. Además se encuentra semiconfinado entre una capa de limoarcillas hacia techo y una capa de arcillas hacia la base. Las gravas y arenas se encuentran a una profundidad de 11,7 hasta los 23,6 m desde la superficie en el primer sondeo 23,1 m, para el cuarto sondeo la misma capa de gravas y arenas se encuentra desde los 12,6 m hasta los 23,1 m, y en el sexto sondeo esta capa se encuentra desde los 20,6 m hasta los 33 metros aproximadamente.

Para los sondeos 13, 5 y 2, también se encontraron valores de resistividades medios, que indican la presencia de gravas y arenas saturadas, lo que podría indicar presencia de agua con leves contenidos de sales disueltas. La capa permeable se encuentra para el sondeo 13 a 9,43 m y tiene un espesor de casi 11 metros, para el sondeo 5 la capa de gravas y arenas se encuentra a 6,65 m hasta los 22 metros, y finalmente para el sondeo 2 la capa permeable se encuentra a 17,9 metros y tiene un espesor de 15,4 metros. Para estos tres

sondeos probablemente la capa de gravas continúe hasta llegar al sello general que serían las areniscas y lutitas de la Formación Zapotal y Socorro respectivamente.

En los sondeos 15 y 14, 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. Sin embargo la capa semipermeable se encuentra a 9,62 y 5,5 metros para el sondeo 14 y 15 respectivamente.

En el perfil B-B' (**Figura 5. 6**), se observa que en la cuenca alta del río Cadeate las capas permeables contienen valores no muy altos de resistividad, indicando que las capas no se encuentran completamente saturadas, y podrían contener niveles bajos de sales disueltas.

Se puede observar que en ambos perfiles el nivel freático se encuentra aproximadamente por debajo de los 10 metros de profundidad medidos desde la superficie del suelo, donde ocurre el cambio de

material poco permeable seco (limoarcillas) y la capa de material permeable saturado (gravas y arenas) que sería donde se encuentra el reservorio de aguas subterráneas.

Cálculo referencial de la capacidad acuífera ideal del acuífero

Utilizando este perfil, se puede estimar la capacidad acuífera de la capa de gravas y arenas definida por los límites de los perfiles geoelectricos elaborados hasta una profundidad de investigación promedio máxima de 20 metros de acuerdo a los SEVs interpretados.

Este cálculo se realiza utilizando el área superficial de las zonas potenciales acuíferas en los aluviales del río Cadeate definidas en el mapa de la **Figura 5. 6**, y el espesor promedio de las secciones definidas como permeables en los perfiles geoelectricos correlacionados, que corresponderían a la capa de gravas y arenas saturadas y finalmente se multiplicará por la porosidad de la capa acuífera para obtener el

volumen o capacidad máxima del acuífero mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{Espesor promedio} \times \text{Área superficial} \\ \times \text{porosidad}$$

En este caso se puede estimar que la capa acuífera en Cadeate tiene una potencia promedio de 16.23 metros, y su área superficial calculada en ArcGis 10.3 es de 1'400.070 m². Se considerará un valor de porosidad promedio para las gravas y arenas, definidas según las interpretaciones realizadas en los SEVs para esta capa, de 0.20 según estudios anteriores realizados por el CIPAT-ESPOL TECH E.P, 2015.

Con todo lo anterior reemplazando los valores en la ecuación anterior se pueden estimar la capacidad acuífera de las capas permeables:

$$\text{Volumen} = 1'400.070 \times 16.23 \times 0.20 = 4'544.627 \text{ m}^3$$

5.2.2.3. Depósitos aluviales de la subcuenca del río Simón Bolívar

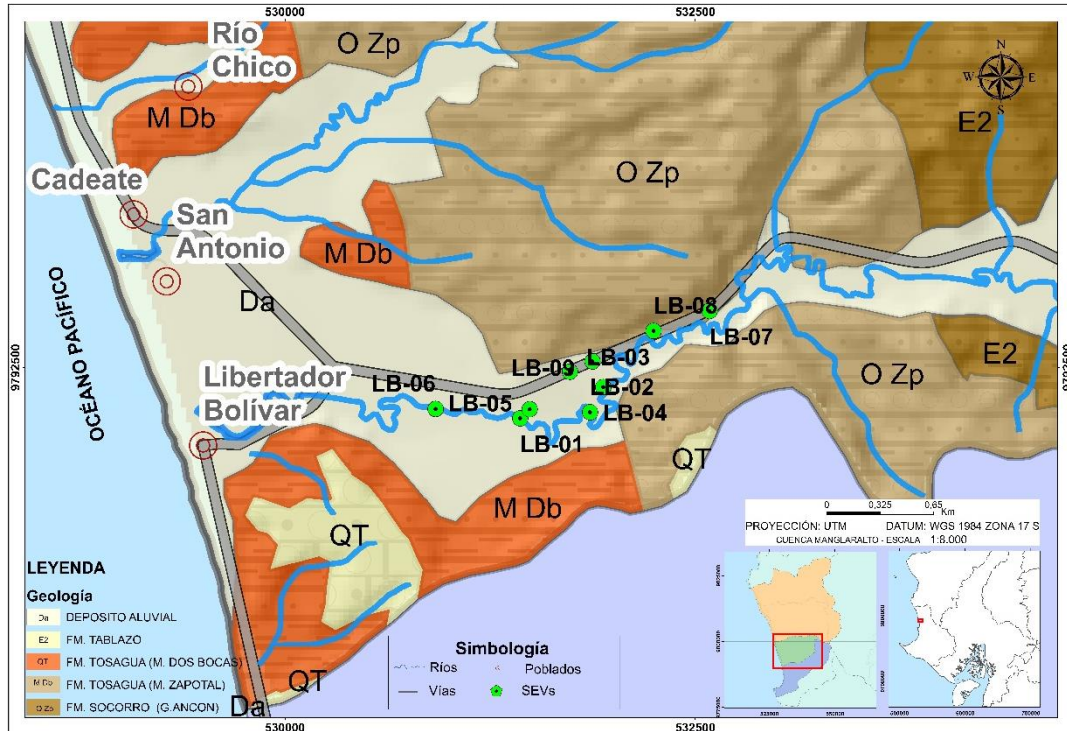


Figura 5. 9 Ubicación perfil A-A', subcuenca de Simón Bolívar.
Fuente: Valencia, J., 2017.

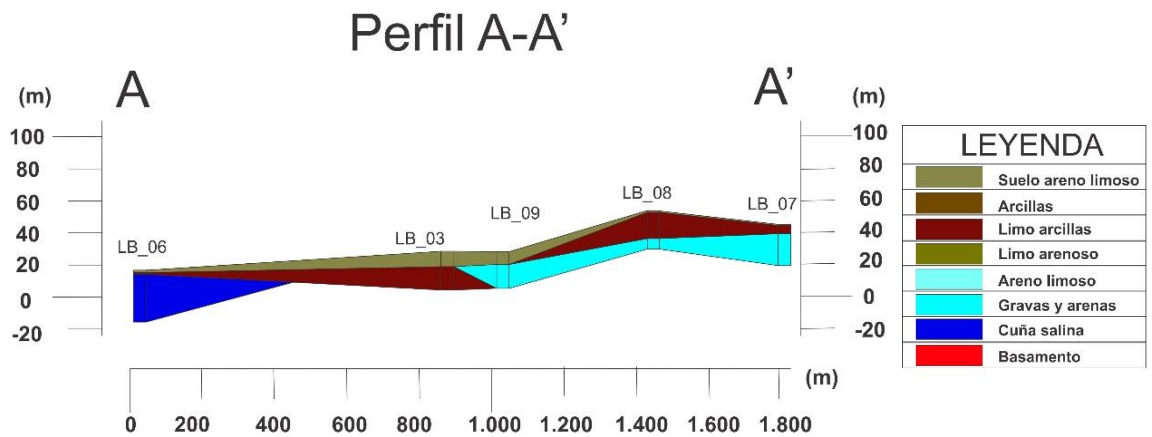


Figura 5. 10 Perfil geoelectrico A-A', subcuenca Simón Bolívar
Fuente: Valencia, J., 2017. Software RockWorks2016.

La **Figura 5. 10**, muestra la disposición de las capas del suelo hasta aproximadamente los 20 metros de profundidad, medidos desde el nivel del mar. Se ha considerado a las capas de material muy permeable de gravas y arenas, como las más probables o potenciales de aguas subterráneas

Se correlacionaron los sondeos eléctricos verticales 3, 6, 7, 8 y 9 de Libertador Bolívar, de acuerdo a su posición, y se observa que los sondeos 7, 8 y 9 tienen altas probabilidades de aguas subterráneas. Sin embargo el sondeo 6, al encontrarse más cercano a la costa, posee valores de resistividades más bajos que los demás indicando presencia de agua con mayor cantidad de sales disueltas que los que se encuentran más alejados de la costa.

Se observa que el acuífero es libre y poroso, y que el nivel freático se encuentra aproximadamente por debajo de los 10 metros de profundidad medidos desde la superficie del suelo, donde ocurre el cambio de material semipermeable seco (limoarenas) y la capa de material permeable

saturado (gravas y arenas) que sería donde se encuentra el reservorio de aguas subterráneas. Para todos estos sondeos probablemente la capa de gravas continúe hasta llegar al sello general que serían los estratos arcillosos y las lutitas de la Formación Zapotal y Socorro subyacente.

Cálculo referencial de la capacidad acuífera ideal del acuífero

Utilizando este perfil, se puede estimar la capacidad acuífera de la capa de gravas y arenas definida por los límites de los perfiles geoelectricos elaborados hasta una profundidad de investigación promedio máxima de 30 metros de acuerdo a los SEVs interpretados.

Este cálculo se realiza utilizando el área superficial de las zonas potenciales acuíferas en los aluviales de la cuenca media y baja del río Simón Bolívar definidas en el mapa de la **Figura 5. 9**, y el espesor promedio de las secciones definidas como permeables en los perfiles geoelectricos correlacionados, que corresponderían a la capa de

gravas y arenas saturadas y finalmente se multiplicará por la porosidad de la capa acuífera para obtener el volumen o capacidad máxima del acuífero mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{Espesor promedio} \times \text{Área superficial} \\ \times \text{porosidad}$$

En este caso se puede estimar que la capa acuífera en estos aluviales del río Simón Bolívar tiene una potencia promedio de aproximadamente 18.09 metros y el área superficial calculada en ArcGis 10.3 es de 1'645.540 m². Se considerará un valor de porosidad promedio para las gravas y arenas, definidas según las interpretaciones realizadas en los SEVs para esta capa, de 0.20 según estudios anteriores realizados por el CIPAT-ESPOL TECH E.P, 2015.

Con todo lo anterior reemplazando los valores en la ecuación anterior se puede estimar la capacidad acuífera de las capas permeables:

$$\text{Volumen} = (1'645.540 \times 18.09 \times 0.20) = 5'963.563 \text{ m}^3$$

Cálculo referencial de la capacidad acuífera real del acuífero

Se realizó una correlación de los niveles piezométricos de un pozo perforado de la JAAPMAN en Libertador Bolívar y otro pozo de la comuna Sitio Nuevo, con los sondeos eléctricos verticales realizados en la subcuenca de Libertador Bolívar y con los datos de la **Tabla XXXIV** se elaboró el mapa de isopiezas para esta subcuenca (**Figura 5. 11**).

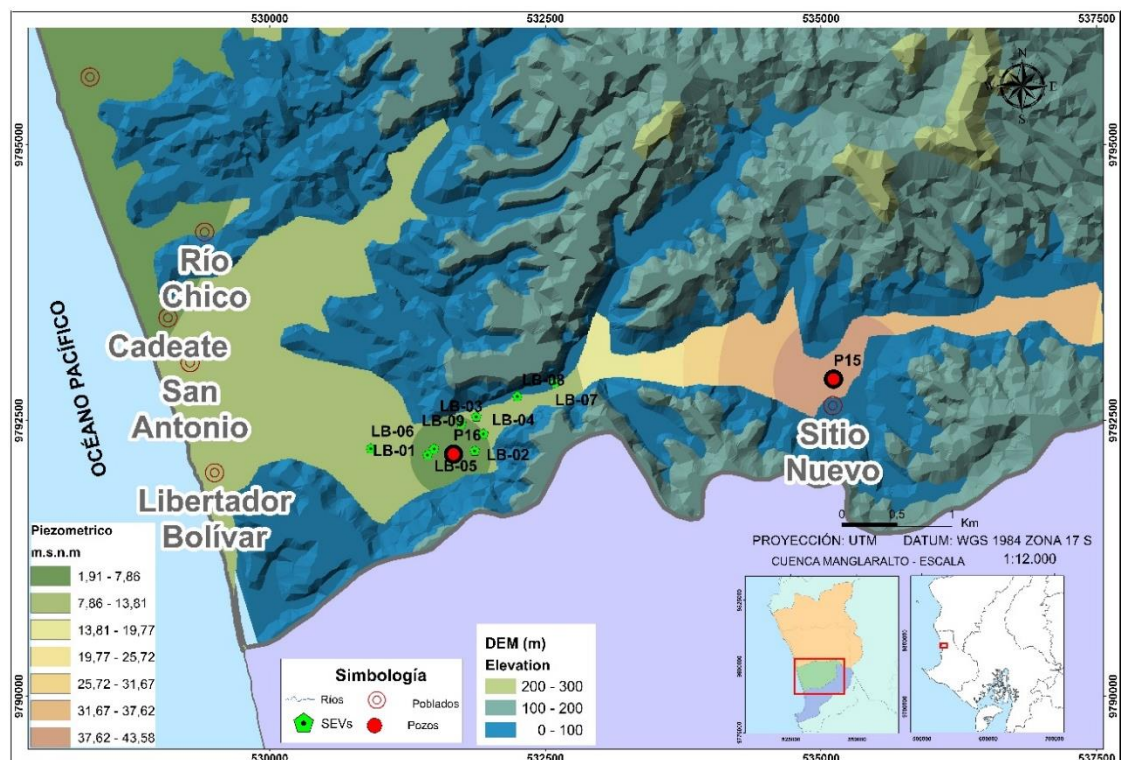


Figura 5. 11 Mapa piezométrico, subcuenca Simón Bolívar.
Fuente: Valencia, J., 2017.

Se correlacionó la interpretación geoelectrica con el mapa piezométrico y se estimó el nivel piezométrico para cada sondeo, y con esto se calculó el espesor de la capa acuífera realmente saturada de agua es decir el espesor medido desde el nivel pizométrico de cada sondeo hasta la profundidad máxima del sondeo, tal como se muestra en la **Tabla XXXVI**.

Tabla XXXVI. Tabla Niveles Piezométricos SEVs, subcuenca Simón Bolívar.

SEV	X	Y	Z	Nivel Freático (m)	Nivel Piezométrico (m.s.n.m)	Espesor ideal (m)	Espesor real (m)
LB-06	530918	9792248	16	7.58	8.42	30.5	25.42
LB-07	532587	9792844	43	30.88	12.12	20.5	14
LB-08	532246	9792722	51	41.19	9.81	5.57	14
LB-09	531874	9792537	28	20.18	7.82	15.8	3.56

Fuente: Valencia, J., 2017.

Para el cálculo de la capacidad acuífera real, combinando los datos de los perfiles geoelectricos y los niveles piezométricos de los pozos, la potencia promedio de la capa acuífera realmente saturada es de 14.04 metros, el área superficial de la zona potencial acuífera calculada en ArcGis 10.3 es de 1'645.540 m², y considerando el mismo

valor de porosidad promedio para las gravas y arenas se tiene:

$$Volumen = (1'645.540 \times 14.04 \times 0.20) = 4'739.155 m^3$$

Cálculo referencial del volumen real de extracción del acuífero

Considerando la profundidad de perforación de cada pozo y conociendo el nivel freático promedio, es posible estimar la cantidad de agua extraíble del acuífero, como se explicó anteriormente para el acuífero de Manglarlato.

Según la **Tabla XXXIV**, el espesor promedio de los 2 pozos de inventariados en la subcuenca del río Simón Bolívar es de 8.28 metros, y considerando la misma área superficial definida en este trabajo para el acuífero de la cuenca media e inferior del río Simón Bolívar de 1'645.540 m², se tiene un volumen real de extracción de:

$$Volumen = 1'645.540 \times 8.28 \times 0.20 = 2'725.014 m^3$$

5.3. Resultados del Balance Hídrico de Suelos

El balance hídrico en el presente estudio se realizó mediante las medias mensuales de las precipitaciones y las temperaturas para el periodo 2000-2015.

Como se indicó anteriormente los valores de evapotranspiración obtenidos son mucho mayores a los de la precipitación anual promedio para este periodo por lo que los resultados del balance hídrico del suelo serían los calculados en la **Tabla XXXVII** y se muestran gráficamente en la **Figura 5. 12**.

Tabla XXXVII. Cálculo del Balance Hídrico del suelo.

												Almac. máx.:	200
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
P	50.4	102.6	92.6	24.2	12.6	9.8	24.2	18.7	9.9	26.2	13.1	5.3	389.6
ETP corr.	123.6	143.0	137.3	131.1	116.8	84.9	81.8	72.5	78.1	80.8	90.4	107.8	1248.3
Almac.	138.0	112.0	90.0	52.0	31.0	21.0	16.0	12.0	8.0	6.0	5.0	3.0	
ETR	112.4	128.6	114.6	62.2	33.6	19.8	29.2	22.7	13.9	28.2	14.1	7.3	389.6
Excedentes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Déficit	11.2	14.5	22.7	68.9	83.2	65.1	52.6	49.9	64.2	52.6	76.3	100.6	661.7
ER/ETP*100	90.9	89.9	83.5	47.5	28.8	23.3	35.7	31.3	17.8	34.9	15.6	6.7	

Fuente: Modificado de INAMHI, 2012.

Las reservas es la cantidad máxima de agua que las propiedades físicas del suelo le permiten retener en sus poros, y se da cuando el

valor de precipitación supera el de la ETP o cuando ya existe una cantidad de agua en los poros del suelo antes de realizar el Balance Hídrico. Sin embargo existen reservas mensuales en este periodo (2000 – 2015) para la cuenca donde se realizó el balance hídrico del suelo para los meses lluviosos mayores al valor de las precipitaciones, y para los meses de estiaje las reservas son mínimas debido a que la evapotranspiración es mucho mayor que la precipitación.

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de agua que se evapotranspira efectivamente de las precipitaciones y las reservas que existían antes de las precipitaciones, en este caso mensual. La ETR es igual en todos los meses al valor de la precipitación más la capacidad media de retención de agua en el suelo que va quedando cada mes, considerada en este trabajo como 200 mm, ya que los valores de ETR son menores a los de ETP, por tanto toda el agua precipitada es evapotranspirada.

El déficit es la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la real ($ETP - ETR$), y para este caso es positivo y existe durante todos los meses del año sumando anualmente un valor muy alto de 661,7 mm, indicando que no existe suficiente cantidad de agua para cubrir las necesidades de evapotranspiración dentro de este periodo en el que se estima el balance.

Los excedentes indican el agua que no puede ser retenida por los poros del suelo, es decir la que supera la capacidad de reserva, y se escapa a través de escorrentía superficial o subterránea si la permeabilidad del suelo es inferior a la intensidad de la precipitación. En este caso, como resultado del balance hídrico, tampoco existen excedentes que puedan producir escorrentía debido a que los valores de precipitación son muy bajos y toda el agua precipitada es evapotranspirada.

El balance hídrico estimado en este trabajo se realizó con los datos de precipitaciones medias mensuales en un periodo de 15 años, lo que refuerza y garantiza los datos obtenidos, disminuyendo así las desviaciones de error.

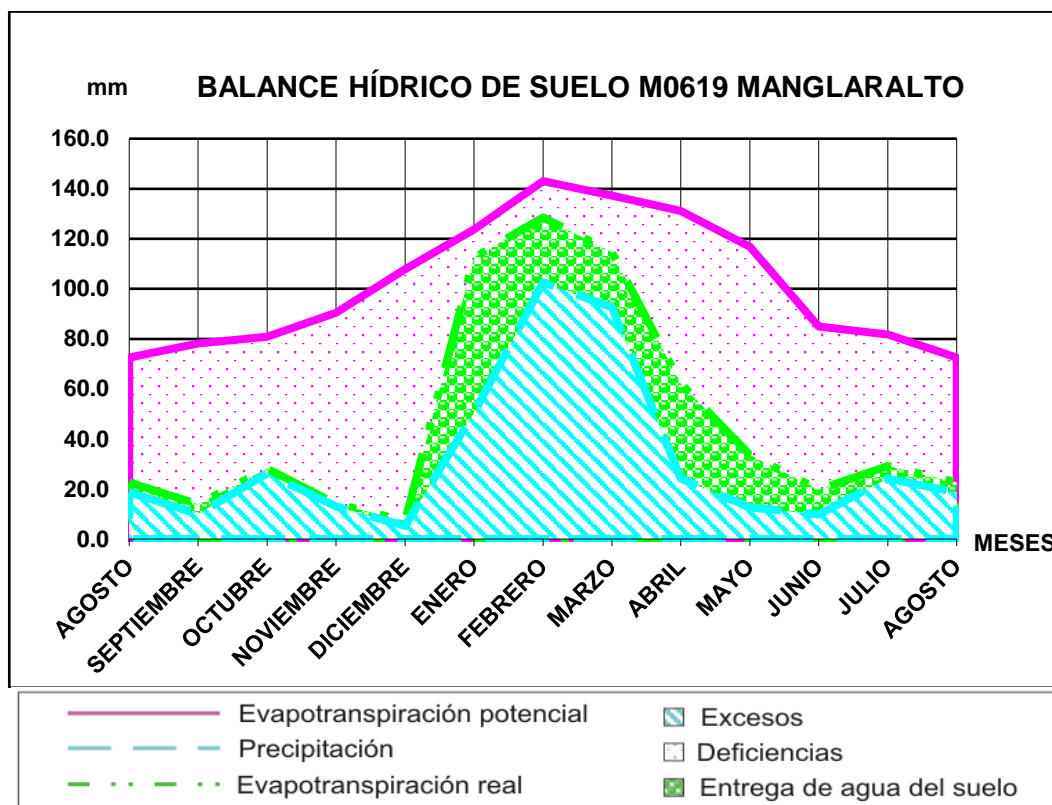


Figura 5. 12 Balance hídrico de suelo de la cuenca de Manglaralto
Fuente: Modificado de INAMHI, 2012.

5.4. Relación Acuífero – Demanda

Tabla XXXVIII. Tabla de Resultados

Acuífero	Capacidad Acuífera Ideal (m ³)	Capacidad Acuífera Real (m ³)	Volumen Máximo de Extracción (m ³)	%
Manglaralto	13'318.091	10'641.395	9'880.779	55.92
Cadeate	4'544.627	(-)	(-)	19.08
Simón Bolívar	5'953.563	4'739.155	2'725.014	25.00
TOTAL	23'816.282	15'380.551	12'605.793	100

Fuente: Valencia, J., 2017.

Como se muestra en la **Tabla XXXVIII**, se obtuvo una capacidad de almacenamiento ideal del acuífero de Manglaralto a partir de los datos geofísicos de 13'318.091 m³ y real combinándolos con los datos de

pozos, de 10'641.395 m³ y un volumen de extracción real según la profundidad de los pozos de 9'880.779 m³. Con estos datos, según los valores de los caudales proporcionados por la JAAPMAN (**Tabla VI**) en el 2014, se extrajeron de los 12 pozos perforados del acuífero 473.858 m³ y en el 2015 alcanzó el máximo de consumo de 654.831 m³, por lo que se considera que la demanda de agua tiende a aumentar en un 30% en los últimos años, y según una estimación de la JAAPMAN, aproximadamente el 15% del consumo anual, es extraído por otros pozos particulares que no pertenecen a la Junta, pero que también descargan el acuífero, y considerando también, que solo el 21% de las precipitaciones recarga el acuífero anualmente según el Informe de Recarga del acuífero de Manglaralto, de CIPAT, ESPOL, E.P. 2015. Se tiene según la **Tabla XXXIX**, que, el volumen de agua extraíble del acuífero de Manglaralto se agotaría en aproximadamente 4 años, sino se realiza ningún plan para la recarga artificial del acuífero.

Tabla XXXIX. Tiempo de Agotamiento de las reservas estimadas.

Acuífero	Tiempo de agotamiento capacidad acuífera ideal (años)	Tiempo de agotamiento capacidad acuífera real (años)	Tiempo de agotamiento volumen máximo de extracción (años)
Manglaralto	5	4.5	4
Cadeate	2	(-)	(-)
Simón Bolívar	2.5	2	1
TOTAL	9.5	6.5	5

Fuente: Valencia, J., 2017.

Realizando la misma estimación con la capacidad acuífera para el acuífero de Cadeate y Libertador Bolívar, y considerando la misma tasa de consumo anual, se tendría, como se muestra en la **Tabla XXXIX**, un tiempo de agotamiento de las reservas ideales de dos años y 2 años y medio respectivamente, y el volumen máximo posible de extracción para del acuífero de la cuenca media y baja del río Simón Bolívar se agotaría en aproximadamente 1 año.

Estas estimaciones son todavía muy conservadoras y tendrían que ser verificadas además de su cantidad su calidad con otros estudios. Cabe recalcar que esta estimación de reservas acuíferas se realizó dentro de las zonas susceptibles para la infiltración de aguas superficiales en los depósitos aluviales de la subcuenca del río Manglaralto, Cadeate y Libertador Bolívar, que forman potentes capas de material poroso y permeable, y proporcionan además un conocimiento general de la capacidad volumétrica de cada acuífero hasta una profundidad

promedio máxima de 30 metros. Sin embargo es importante resaltar también que según las interpretaciones realizadas en la mayoría de sondeos, se indica la continuidad de la capa acuífera a mayores profundidades, lo que implicaría que existen reservas aún mayores, pero para su estimación se requieren de más estudios a mayores profundidades.

Por otro lado para el tiempo de vida se ha tomado como referencia el consumo del año 2015 el cual sólo representaba el 53% de toda la población de la parroquia Manglaralto. Además el consumo del año 2015 ha sido el máximo registrado y produjo que el acuífero de Manglaralto alcanzara sus niveles más bajos y que la distribución del agua se tenga que paralizar por algún tiempo.

Los 7 poblados que son abastecidos de agua por la JAAPMAN representan para el 2015, un total de 23.586 personas con una tasa promedio de consumo de agua por habitante diaria de 75 L/día, lo que hizo que el ritmo de extracción de agua de estas comunas en el 2015 sea de 654.831 m³. Con estas condiciones se analiza que si se distribuyera el consumo del agua entre los tres acuíferos con sus reservas parciales estimadas con los datos geofísicos en 23'816.281 m³ (**Tabla XXXVIII**) se extraerían en un tiempo relativo de 9.5 años (**Tabla XXXIX**), sin tomar en cuenta la recarga artificial del acuífero, por lo que esta estimación es solo referencial.

Es necesario recalcar que todas las estimaciones de las relaciones de tiempo de agotamiento de las reservas de agua se realizaron bajo una condición crítica de recarga del 21% de las precipitaciones promedio anuales al acuífero. Sin embargo las precipitaciones abundantes de este año y si se construyen tapes y albarradas en la zona recargarían el acuífero renovando sus reservas y se prolongaría el tiempo de agotamiento de sus reservas.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El análisis hidrogeológico de la cuenca del río Manglaralto permitió definir la importancia de los acuíferos de Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar respecto a un mayor volumen de la capacidad de almacenamiento, calculada en 23'816.282 m³, distribuidas en 56% para el acuífero del río Manglaralto, 25% para el acuífero de río Simón Bolívar y 19.08% para el acuífero del río Cadeate, es decir que los acuíferos de Cadeate y Simón Bolívar le aumentarían al acuífero de Manglaralto un 44% de su volumen total, en relación a los parámetros hidrogeológicos utilizados en el análisis espacial utilizando sistemas de información geográficas y la interpretación realizada de los sondeos eléctricos verticales.

Específicamente el volumen adicional estimado en las cuencas del río Cadeate es 4'544.627 m³ y en la cuenca media y baja del río Simón Bolívar son 5'953.563 m³ y asumiendo un aumento del 30% en la tasa anual de consumo abastecería el consumo de la población por cerca de 4.5 años, sin considerar ningún plan de recarga artificial.

Se definieron las zonas con muy alto, alto, moderado y bajo potencial de infiltración de aguas superficiales que alimenten los acuíferos subterráneos en la cuenca de Manglaralto utilizando parámetros hidrogeológicos de las características propias del terreno como litología, coberturas y usos del suelo, pendientes, densidad de fallas y frecuencia y densidad de drenaje y las precipitaciones como factor desencadenante, a los cuales se les asignó un peso según sus propiedades en la infiltración de agua en el suelo y se observó que dichas zonas sólo representan el 9,47% para los factores condicionantes y el 5.16% incluyendo el factor desencadenante, de toda la cuenca y se encuentran especialmente en las zonas planas de los aluviales de los tres ríos importantes, Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar.

Correlacionando la información geológica de la zona, los perfiles geoeléctricos y los datos de pozos se definieron los límites y la geometría de las unidades acuíferas permeables compuestas por gravas y arenas, de la subcuenca del río Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar, y se definió al basamento como estratos arcillosos de las Formaciones Zapotal y las lutitas de la Formación Socorro del Grupo Ancón de alta resistividad y baja permeabilidad, según las interpretaciones realizadas en los 40 sondeos ejecutados en la zona de estudio. Además de acuerdo con la clasificación que propone el IGME al acuífero del río Manglaralto y del río Simón Bolívar se los clasificó como costeros-libres-porosos, aunque al acuífero de la

cuenca alta del río Manglaralto al igual que al del río Cadeate se lo clasificó como costero-semiconfinado-poroso.

La capacidad acuífera ideal del acuífero de Manglaralto utilizando los resultados de la geofísica se estimó en 13'318.091 m³ considerando una porosidad del 20%, y la capacidad acuífera real considerando los datos de la geofísica y los niveles piezométricos del segundo trimestre del año 2016, se calculó en 10'641.395 m³ y finalmente el volumen máximo de extracción, utilizando los datos de pozos se calcularon en 9'880.779 m³ indicando que el acuífero se encuentra al 70% de su capacidad.

La capacidad acuífera del acuífero del río Cadeate utilizando datos de geofísica se estimó en 4'544.627 m³ con una porosidad del 20% y la misma capacidad acuífera para el acuífero de la cuenca media y baja del río Simón Bolívar, se estimó en 5'953.563 m³, y su capacidad acuífera considerando los niveles piezométricos de junio del año 2017, se calculó en 4'739.155 m³. Finalmente el volumen máximo de extracción, utilizando los datos de pozos se estimó en 2'725.014 m³, indicando que esta zona del acuífero de Libertador Bolívar se encuentra al 45% de su capacidad.

El balance hídrico del suelo de la cuenca de Manglaralto realizado a partir de datos de precipitaciones y temperaturas mensuales medias para el periodo 2000-2015, muestra que la cuenca se encuentra en un déficit hídrico anual de 661,7 mm con una precipitación promedio anual de 389,6 mm y una ETP de 1248,3 mm, indicando que toda el agua precipitada es evapotranspirada por lo que la única fuente de recarga del acuífero se da por los aportes de las precipitaciones en la estación lluviosa, y no existe suficiente recarga en la estación seca fuera de los lugares donde se han construido tapes que sirven como recarga artificial y prolongan el periodo de filtración.

Según los valores de los caudales proporcionados por la JAAPMAN, se extrajeron de los 12 pozos perforados del acuífero de Manglaralto 473.858 m³ en el año 2014 y 654.831 m³ en el 2015, es decir que se tiene una tasa de crecimiento aproximada del 30% anual. Bajo estas condiciones de descarga y considerando que el 15% de esta cantidad corresponde al consumo de los pozos de la zona que no pertenecen a la JAAPMAN y a la recarga como solo el 21% de las precipitaciones anuales, el volumen máximo extraíble del acuífero de Manglaralto se agotaría en 4 años pero sumándole la capacidad acuífera ideal y real del acuífero de Cadeate y Libertador Bolívar respectivamente, se agotarían en aproximadamente 8 años, considerando que para este periodo no exista ningún tipo de recarga artificial del acuífero.

RECOMENDACIONES

Para la elaboración del mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas se recomienda utilizar el parámetro de texturas de suelos donde se indique el espesor y el tipo de suelo que cubre la litología de la zona, impidiendo muchas veces que el agua llegue hasta la formación geológica clasificada ya según su permeabilidad.

Realizar una campaña de prospección geoelectrica en los alrededores de la comuna Sitio Nuevo, en la subcuenca del río Simón Bolívar, para una correlación posterior con los niveles piezométricos de los pozos de esa zona, con la finalidad de completar los límites, geometría y capacidad acuífera real del acuífero que se encuentra en esta subcuenca.

Realizar un nuevo inventario de pozos que incluyan todos los pozos perforados y los particulares, sus niveles estáticos durante un año hidrogeológico, y el caudal diario que se extrae de cada pozo para realizar un mapa piezométrico más a detalle, y correlacionarlo con los sondeos y determinar así de mejor manera las reservas reales de los acuíferos.

Realizar un balance hídrico más a detalle tomando en cuenta los caudales de extracción de todos los pozos tanto los perforados como los particulares, con el fin de determinar la recarga y descarga actual del acuífero.

Construir mayor densidad de tapes y albarradas en las zonas consideradas como de muy alto potencial de infiltración de aguas superficiales, para aumentar la recarga de los acuíferos de Manglaralto y Libertador Bolívar sobre todo en la cuenca alta que son las que presentan mayores precipitaciones, a la altura de Dos Mangas y Sitio Nuevo respectivamente.

ANEXOS

ANEXO A: Datos Obtenidos en Campo de Sondeos Eléctricos Verticales

FUENTE:				Arévalo, (2016)					
NOMBRE DEL SONDAJE:				MA-01	MA-02	MA-03	MA-04	MA-05	MA-06
COORDENADAS X:				531580	531404	532195	530428	532382	531433
COORDENADAS Y:				9796747	9796725	9797160	9796448	9797039	9796630
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)
1	1	0.2	7.54	9.54	14.38	9.02	28.01	7.18	5.38
2	1.47	0.2	16.66	10.30	14.25	11.12	21.58	5.83	25.07
3	2.15	0.2	35.99	10.00	13.58	9.39	13.58	6.33	23.77
4	3.16	0.2	78.11	11.45	12.37	10.83	9.55	7.93	22.82
5	4.64	0.2	168.78	15.58	8.83	11.40	12.92	9.76	22.91
6	4.64	0.5	66.85	10.43	6.89	12.46	8.40	6.20	18.25
7	6.81	0.2	363.92	21.38	7.71	8.97	22.71	20.85	30.65
8	6.81	0.5	144.91	12.10	7.30	6.67	6.94	9.41	46.52
9	10	0.5	313.37	17.16	5.41	8.05	35.54	17.58	25.57
10	14.7	0.5	678.08	42.81	7.47	6.61	50.73	35.66	43.87
11	14.7	2	166.58	26.27	15.15	16.05	5.11	12.66	19.04
12	21.5	0.5	1451.42	66.66	27.45	46.52	101.75	71.23	95.94
13	21.5	2	359.91	36.37	16.90	44.59	30.31	22.91	31.00
14	31.6	2	781.13	77.62	64.88	25.32	72.07	47.85	71.37
15	46.4	2	1687.79	141.44	71.58	27.10	12.62	101.65	95.51
16	46.4	5	668.52	36.13	41.26	15.35	3.33	54.64	43.30
17	68.1	2	3639.24	91.06	115.72	43.67	108.88	231.75	190.51
18	68.1	5	1449.1	80.04	36.57	13.89	54.20	101.14	89.03
19	100	5	3133.75			23.35	70.34		124.93
20	100	10	1555.09			70.47	46.53		103.27

FUENTE:				Arévalo, (2016)					
NOMBRE DEL SONDAJE:				MA-07	MA-08	MA-09	MA-10	MA-11	MA-12
COORDENADAS X:				531369	531473	529345	529356	529027	530289
COORDENADAS Y:				9796543	9796546	9796304	9796283	9796495	9796522
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)
1	1	0.2	7.54	37.31	30.35	20.61	29.29	40.56	19.65
2	1.47	0.2	16.66	37.54	27.20	15.48	22.84	31.03	17.17
3	2.15	0.2	35.99	29.79	28.96	12.40	19.26	20.21	15.86
4	3.16	0.2	78.11	27.99	30.77	12.14	19.10	11.60	17.23
5	4.64	0.2	168.78	31.09	32.73	8.40	14.33	8.95	19.15
6	4.64	0.5	66.85	29.17	32.47	12.61	16.67	7.67	16.56
7	6.81	0.2	363.92	38.14	42.53	7.89	17.00	10.84	4.40
8	6.81	0.5	144.91	32.07	32.49	5.34	17.34	5.28	9.43
9	10	0.5	313.37	36.53	38.98	5.98	27.35	8.29	10.40
10	14.7	0.5	678.08	54.97	60.84	14.87	66.28	18.57	17.05
11	14.7	2	166.58	26.58	22.62	17.12	38.79	10.71	12.47
12	21.5	0.5	1451.42	95.59	110.90	19.87	115.83	25.41	7.47
13	21.5	2	359.91	30.13	41.73	10.62	56.56	15.26	19.17
14	31.6	2	781.13	57.64	70.66	24.69	84.90	81.03	7.28
15	46.4	2	1687.79	90.60	135.70	7.36	135.50	102.36	16.26
16	46.4	5	668.52	50.38	61.12	46.13	76.31	63.91	7.32
17	68.1	2	3639.24	125.68	236.60	70.23	213.88	206.39	17.41
18	68.1	5	1449.1	99.39	106.15	64.27	165.95	94.28	9.74
19	100	5	3133.75	179.62		109.55	210.40	193.86	20.31
20	100	10	1555.09	127.57		90.44	214.83	81.43	27.63

FUENTE:				CIPAT-ESPOL E.P. (2015)		
NOMBRE DEL SONDAJE:				DM-01	DM-02	DM-03
COORDENADAS X:				535587	534530	534429
COORDENADAS Y:				9798385	9798247	9798140
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)
1	1	0.2	7.54	15.73	73.26	50.24
2	1.47	0.2	16.66	9.72	45.72	15.65
3	2.15	0.2	35.99	7.38	35.50	15.37
4	3.16	0.2	78.11	5.39	33.87	12.17
5	4.64	0.2	168.78	4.31	54.93	15.87
6	4.64	0.5	66.85	5.99	56.87	16.61
7	6.81	0.2	363.92	2.98	29.50	10.33
8	6.81	0.5	144.91	5.38	26.97	8.47
9	10	0.5	313.37	4.21	19.01	25.95
10	14.7	0.5	678.08	4.60	4.38	27.43
11	14.7	2	166.58	6.40	5.28	23.51
12	21.5	0.5	1451.42	1.19	115.61	8.42
13	21.5	2	359.91	3.64	27.39	10.74
14	31.6	2	781.13	5.05	20.25	5.07
15	46.4	2	1687.79	2.47	239.81	60.85
16	46.4	5	668.52	1.28	1.31	51.95
17	68.1	2	3639.24	45.57	2.35	28.32
18	68.1	5	1449.1	19.67	1.13	35.71
19	100	5	3133.75	115.30	269.42	
20	100	10	1555.09	58.37	170.33	

FUENTE:				CIPAT-ESPOL TECH E.P., (2015)							
NOMBRE DEL SONDAJE:				CD-01	CD-02	CD-03	CD-04	CD-05	CD-06	CD-07	CD-08
COORDENADAS X:				531526	531031	531304	531304	530862	531472	532421	532702
COORDENADAS Y:				9794949	9794341	9794645	9794648	9794252	9794769	9794679	9794939
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (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	166.58	10.46	7.41	9.30	8.68	4.70	10.23	15.98	6.46
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	359.91	7.49	8.54	12.31	8.32	5.02	9.80	15.39	6.55
14	31.6	2	781.13	5.08	9.03	15.28	10.77	14.40	19.87	13.98	6.92
15	46.4	2	1687.79	5.29	9.91	25.83	31.36	37.35	18.13	13.87	3.79
16	46.4	5	668.52	6.48	9.06	15.13	17.68	14.88	11.69	12.37	5.99
17	68.1	2	3639.24	14.71	40.31	34.31	17.22	31.58	19.04	15.99	9.53
18	68.1	5	1449.1	8.21	17.88	20.11	9.52	14.65	11.42	11.73	6.80
19	100	5	3133.75	48.10	9.88	20.80	5.22	155.19	33.00	15.01	7.42
20	100	10	1555.09	30.12	10.12	17.70	1.17	76.38	19.40	11.44	7.35

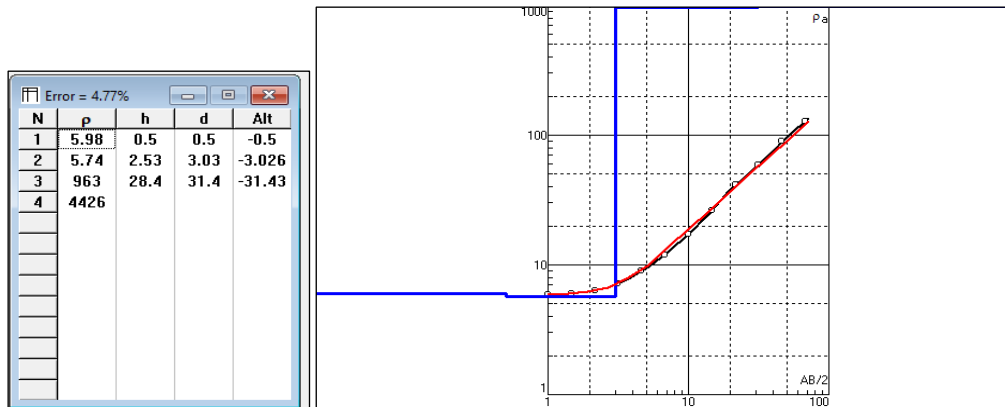
FUENTE:				Toalombo, M., (2016)							
NOMBRE DEL SONDAJE:				CD-09	CD-10	CD-11	CD-12	CD-13	CD-14	CD-15	CD-16
COORDENADAS X:				531635	531344	531096	531047	530621	530426	530230	529779
COORDENADAS Y:				9794520	9794419	9794369	9794349	9794022	9793895	9793766	9793678
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)
1	1	0.2	7.54	86.51	75.30	63.47	54.86	59.90	101.93	45.96	74.08
2	1.47	0.2	16.66	53.39	51.71	35.22	42.69	31.64	55.08	27.61	55.07
3	2.15	0.2	35.99	39.43	42.78	31.43	37.91	22.77	30.03	19.60	82.80
4	3.16	0.2	78.11	19.34	32.48	24.52	35.04	15.22	21.01	15.73	23.29
5	4.64	0.2	168.78	16.33	26.37	24.38	34.83	15.56	20.00	17.76	9.56
6	4.64	0.5	66.85	12.94	19.02	17.43	28.36	11.16	13.10	13.14	8.23
7	6.81	0.2	363.92	17.53	24.63	26.17	47.52	21.23	19.36	27.85	16.07
8	6.81	0.5	144.91	11.57	15.93	15.46	31.50	20.73	9.35	15.57	8.94
9	10	0.5	313.37	18.51	16.78	17.72	52.86	22.27	21.66	31.56	17.26
10	14.7	0.5	678.08	29.50	14.05	23.34	72.55	25.31	16.23	59.70	47.08
11	14.7	2	166.58	12.57	9.82	12.67	39.27	11.06	9.68	13.38	35.08
12	21.5	0.5	1451.42	65.08	11.26	25.77	78.52	59.16	9.76	44.76	48.72
13	21.5	2	359.91	19.41	9.07	13.63	33.98	18.27	14.85	19.63	31.90
14	31.6	2	781.13	15.00	6.77	39.90	96.93	44.02	16.28	22.48	26.74
15	46.4	2	1687.79	34.77	37.22	62.79	204.32	69.93	49.70	87.23	79.77
16	46.4	5	668.52	9.07	23.49	101.75	112.61	36.53	40.19	50.79	67.20
17	68.1	2	3639.24	32.19	71.66	91.07	470.63	244.32	92.61	136.29	47.85
18	68.1	5	1449.1	34.68	80.44	26.16	86.74	98.56	66.47	53.91	63.70
19	100	5	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

FUENTE:				CIPAT-ESPOL E.P. (2015)					
NOMBRE DEL SONDAJE:				LB-01	LB-02	LB-03	LB-04	LB-05	LB-06
COORDENADAS X:				531433	531859	531737	531939	531491	530918
COORDENADAS Y:				9792191	9792228	9792474	9792381	9792246	9792248
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)
1	1	0.2	7.54	5.84	16.26	18.50	4.45	6.00	34326.00
2	1.47	0.2	16.66	4.87	15.96	17.94	10.18	6.67	25823.00
3	2.15	0.2	35.99	3.60	12.15	16.81	11.11	7.80	17670.00
4	3.16	0.2	78.11	2.49	8.28	13.90	11.90	10.03	11721.00
5	4.64	0.2	168.78	2.19	5.23	11.56	11.77	8.48	9.41
6	4.64	0.5	66.85	4.63	7.18	17.19	5.61	7.12	6.43
7	6.81	0.2	363.92	2.79	2.29	10.14	17.84	7.02	5.85
8	6.81	0.5	144.91	4.45	4.54	13.88	9.48	5.57	4.37
9	10	0.5	313.37	4.83	3.40	13.10	11.62	4.91	1.96
10	14.7	0.5	678.08	4.61	3.23	10.60	10.01	4.72	10.64
11	14.7	2	166.58	5.18	3.25	9.37	2.66	5.43	0.69
12	21.5	0.5	1451.42	7.00	4.57	6.20	5.34	6.91	13181.00
13	21.5	2	359.91	5.00	3.09	7.77	2.99	5.03	5.95
14	31.6	2	781.13	6.09	4.02	6.59	25.15	4.07	3.72
15	46.4	2	1687.79	4.99	6.94	5.30	35.38	5.57	4.88
16	46.4	5	668.52	5.00	5.73	5.08	6.39	5.42	5.03
17	68.1	2	3639.24	5.89			13.11	5.42	31094.00
18	68.1	5	1449.1	4.38			24.33	21947.00	14012.00
19	100	5	3133.75	5.99			20.89		49493.00
20	100	10	1555.09	4.99			11.70		26054.00

FUENTE:				Toalombo, M. (2016)		
NOMBRE DEL SONDAJE:				LB-07	LB-08	LB-09
COORDENADAS X:				532587	532246	531874
COORDENADAS Y:				9792844	9792722	9792537
Estación Punto	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)	Resistividad (ohm-m)
1	1	0.2	7.54	62.75	29.26	25.69
2	1.47	0.2	16.66	46.98	23.75	18.46
3	2.15	0.2	35.99	43.83	21.09	15.02
4	3.16	0.2	78.11	30.99	21.20	10.62
5	4.64	0.2	168.78	35.70	18.45	6.05
6	4.64	0.5	66.85	31.85	16.70	8.95
7	6.81	0.2	363.92	18.79	13.56	4.45
8	6.81	0.5	144.91	16.97	13.86	7.80
9	10	0.5	313.37	14.11	10.96	6.47
10	14.7	0.5	678.08	26.17	11.05	8.50
11	14.7	2	166.58	5.52	16.88	4.69
12	21.5	0.5	1451.42	90.32	22.25	38.96
13	21.5	2	359.91	60.00	17.03	6.04
14	31.6	2	781.13	10.98	19.22	5.47
15	46.4	2	1687.79	88.66	53.18	83.04
16	46.4	5	668.52	103.25	11.50	87.90
17	68.1	2	3639.24	181.26	110.25	78.72
18	68.1	5	1449.1	124.28	87.89	59.00
19	100	5	3133.75	343.30	32.09	276.46
20	100	10	1555.09	139.62	17.90	252.42

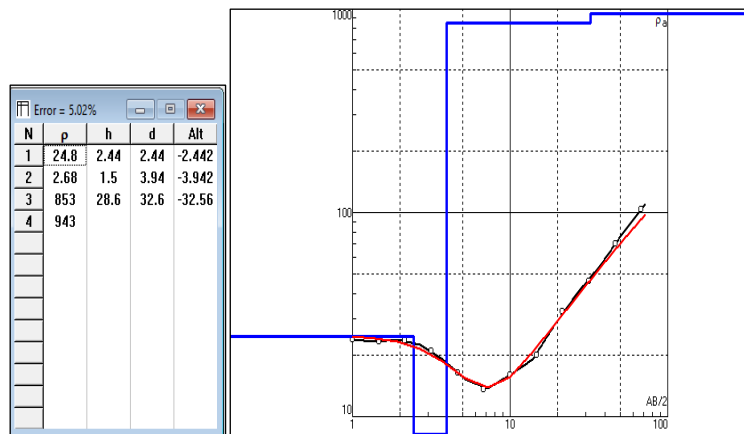
ANEXO B: Interpretaciones de Sondeos Eléctricos Verticales

MA-01



N	Descripción	Esesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo arenoso	0.5	0.5	5.98
2	Material poco permeable (limo-arenoso)	2.53	3.03	5.74
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	28.4	31.43	963
4	Basamento			4426

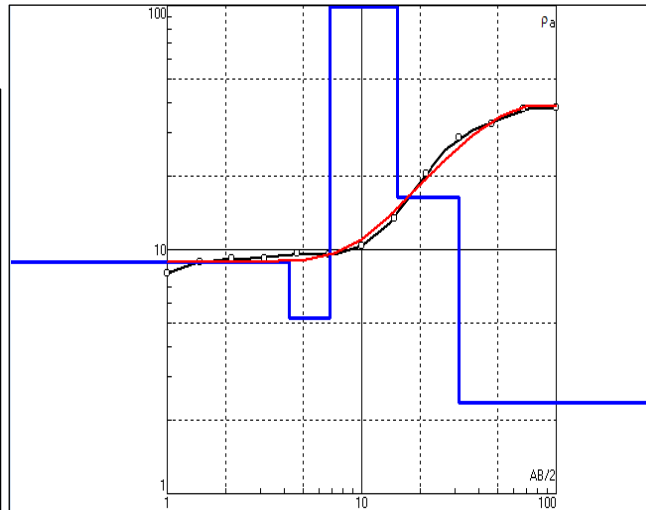
MA-02



N	Descripción	Esesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo arenoso	2.44	2.44	24.8
2	Material muy poco permeable (arcillas)	1.5	3.94	2.68
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	28.6	32.6	853
4	Posible continuidad de material muy permeable			943

MA-03

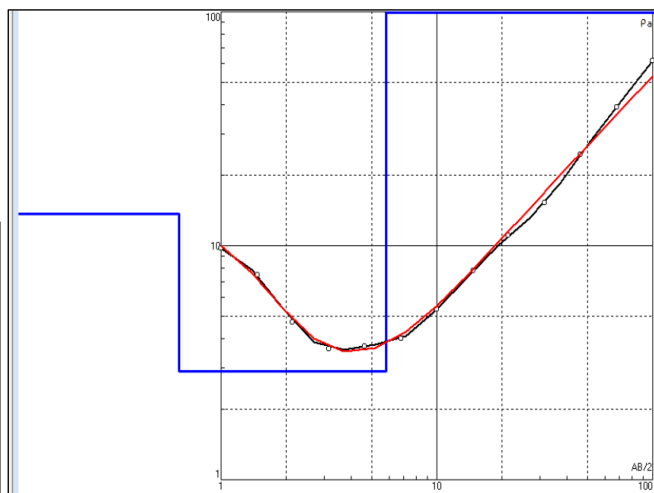
N	ρ	h	d	Alt
1	8.9	4.25	4.25	-4.254
2	5.26	2.63	6.88	-6.88
3	406	8.46	15.3	-15.34
4	16.3	16.1	31.5	-31.49
5	2.37			



N	Descripción	Esesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo arenosa	4.25	4.25	8.9
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	2.63	6.88	5.26
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	8.46	15.3	406
4	Material semipermeable (limo-arenoso)	16.1	31.5	16.3
5	Posible material muy poco permeable (arcillas)			2.37

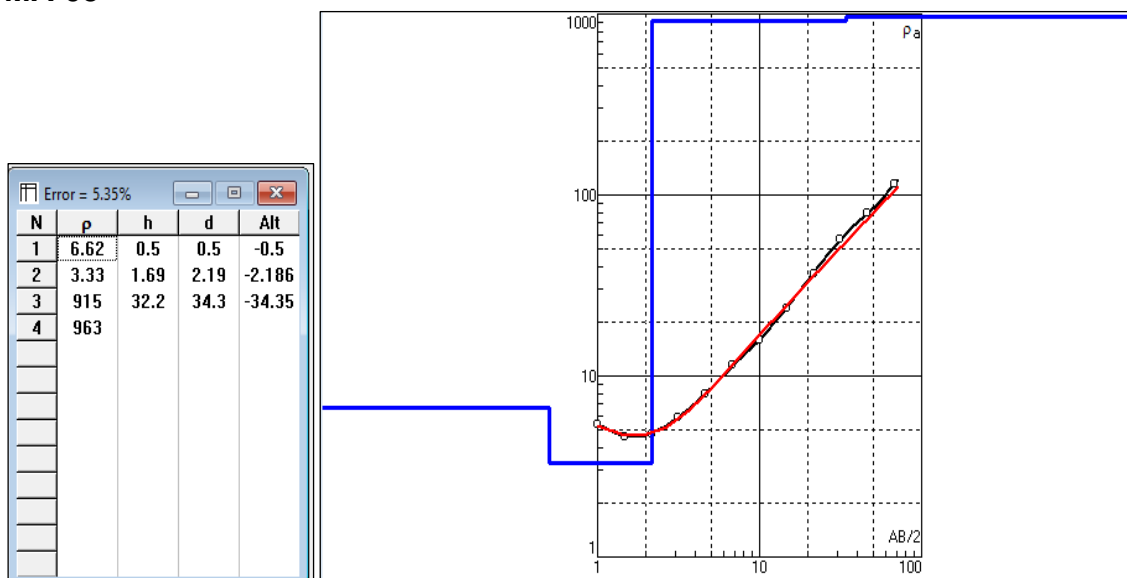
MA-04

ρ	h	d	Alt
13.7	0.638	0.638	-0.6382
2.9	5.2	5.84	-5.838
801	19.5	25.3	-25.34
3559			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo arenoso	0.638	0.638	13.7
2	Material muy poco permeable (limo-arcillas)	5.2	5.84	2.9
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	19.5	25.3	801
4	Basamento			3559

MA-05

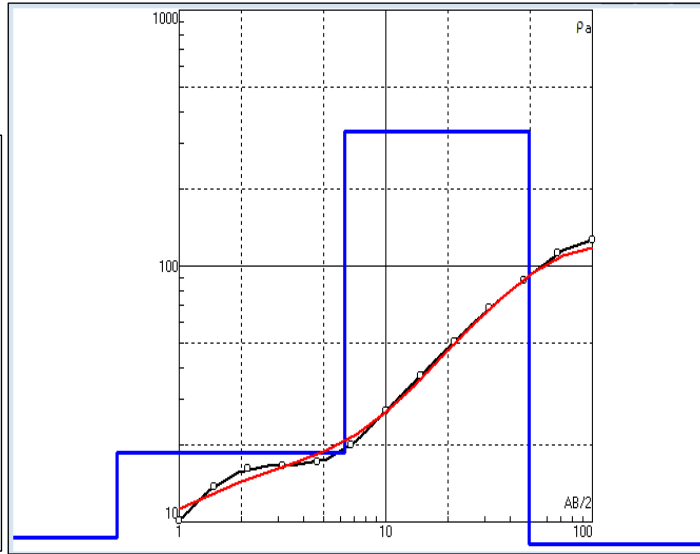


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo arenoso	0.5	0.5	6.62
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	1.69	2.19	3.33
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	32.2	34.3	915
4	Posible continuidad de material muy permeable			963

MA-06

Error = 5.27%

N	ρ	h	d	Alt
1	8.73	0.5	0.5	-0.5
2	18.6	5.84	6.34	-6.341
3	334	43.1	49.4	-49.4
4	2.96			

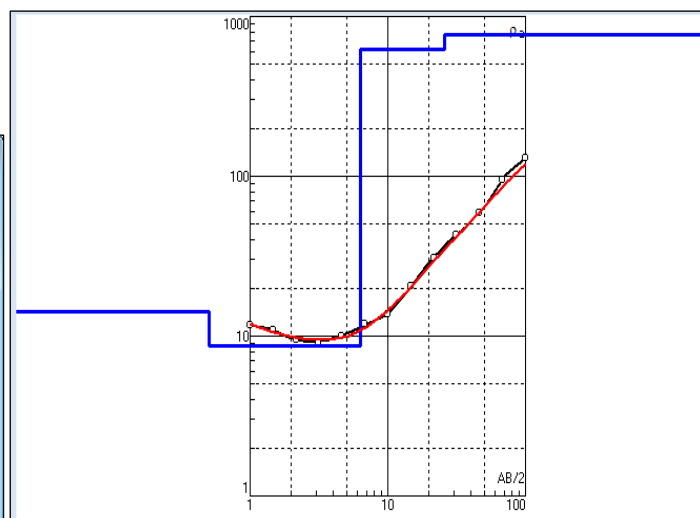


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo arenoso	0.5	0.5	8.73
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	5.84	6.34	18.6
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	43.1	49.4	334
4	Posible material muy poco permeable (arcillas)			2.96

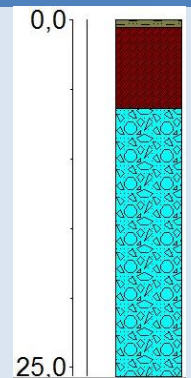
MA-07

Error = 5.1%

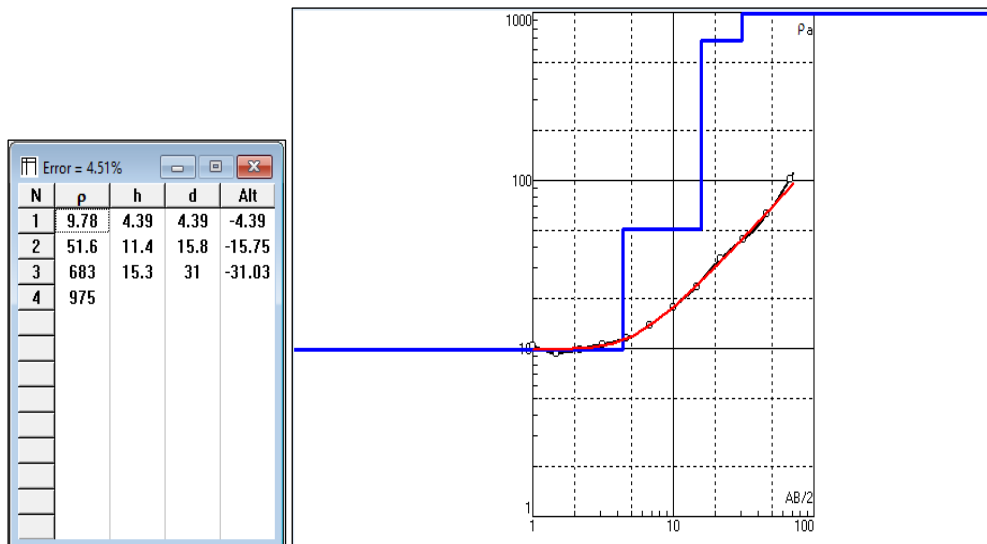
N	ρ	h	d	Alt
1	14.2	0.5	0.5	-0.5
2	8.66	5.84	6.34	-6.344
3	620	19.4	25.7	-25.69
4	768			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo arenoso	0.5	0.5	14.2
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	5.84	6.34	8.66
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	19.4	25.7	620
4	Posible continuidad de material muy permeable			768



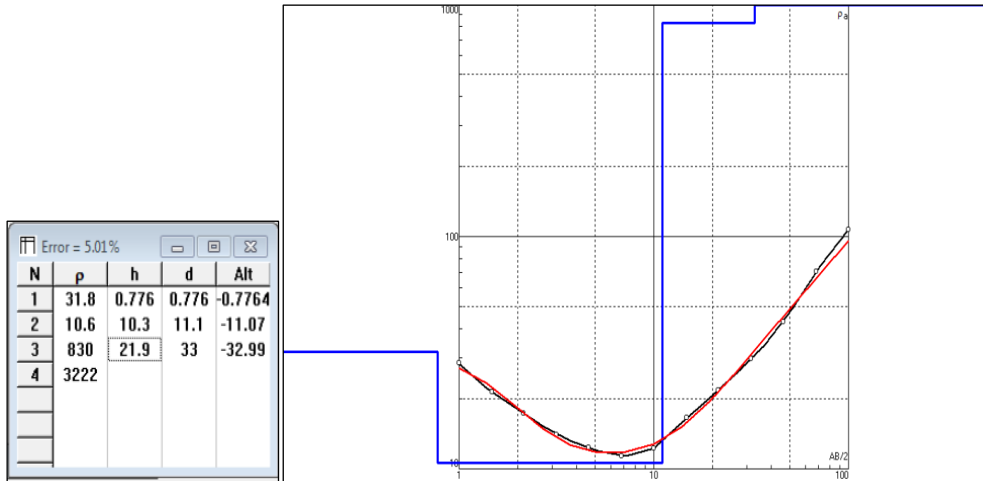
MA-08



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo arenoso	4.39	4.39	9.78
2	Material semipermeable (areno-limoso)	11.4	15.8	51.6
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	15.3	31	683
4	Posible continuidad de material muy permeable			975

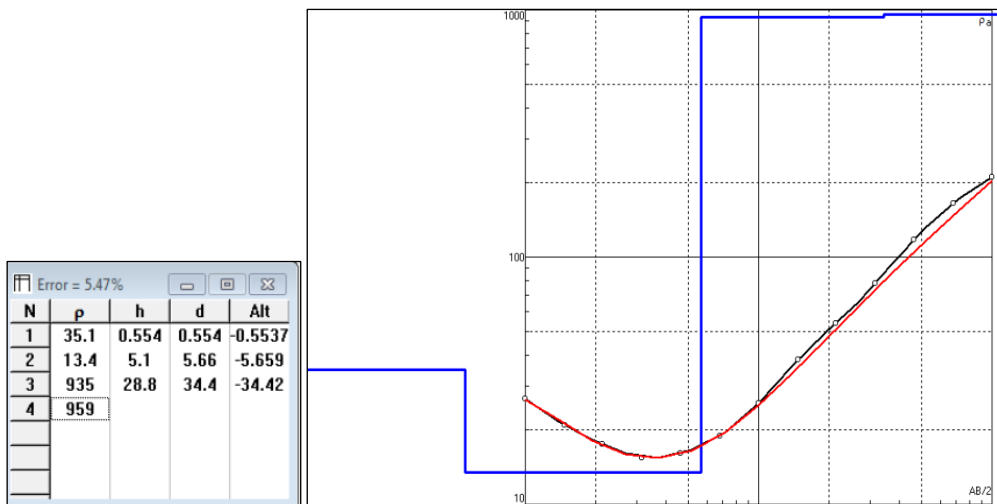


MA-09



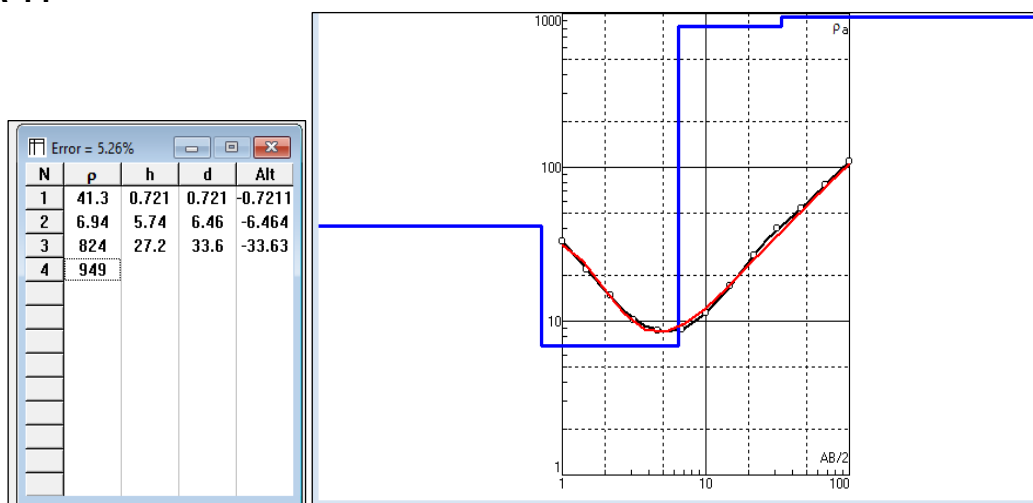
N	Descripción	Espeesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo areno limoso	0.776	0.776	31.8
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	10.3	11.1	10.6
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	21.9	33	830
4	Basamento			3222

MA-10



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo areno limoso	0.55	0.55	35.1
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	5.1	5.66	13.4
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	28.8	34.4	935
4	Posible continuidad de material muy permeable			959

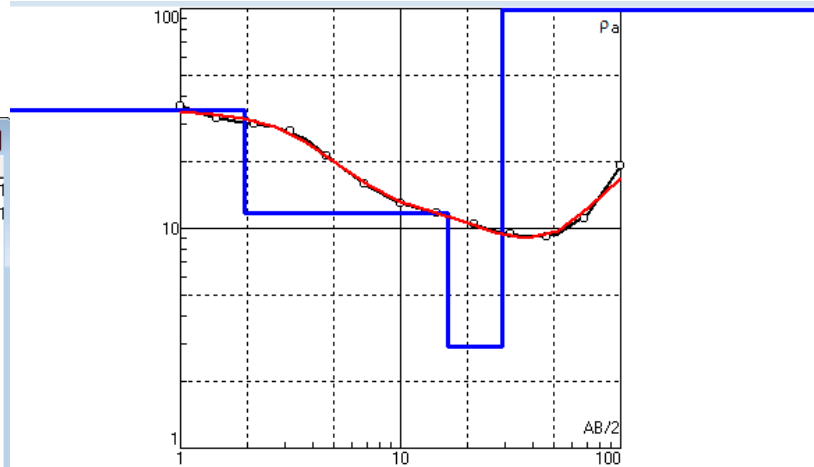
MA-11



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo areno limoso	0.721	0.721	41.3
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	5.74	6.46	6.94
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	27.2	33.6	824
4	Posible continuidad de material muy permeable			949

MA-12

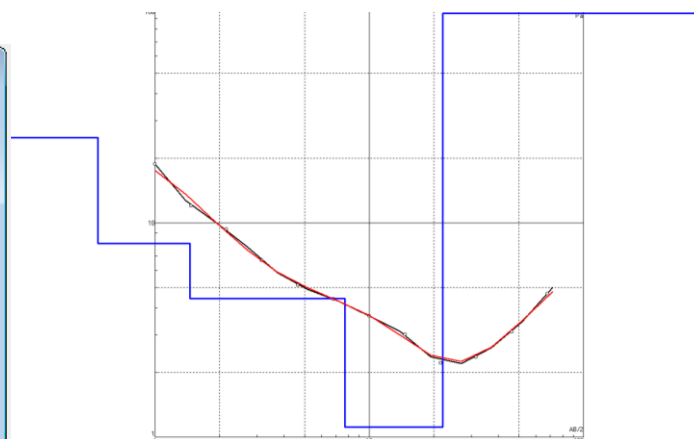
N	ρ	h	d	Alt
1	34.4	1.96	1.96	-1.96
2	11.8	14.4	16.4	-16.4
3	2.9	12.7	29.1	-29.1
4	98.3	3.9	33	-33
5	400			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo arenoso	1.96	1.96	34.4
2	Material poco permeable (limo-arenoso)	14.4	16.4	11.8
3	Material poco permeable (limo-arcillas)	12.7	29.1	2.9
4	Material muy permeable (gravas y arenas)	3.9	33	98.3
5	Posible continuidad de material muy permeable			400

DM-01

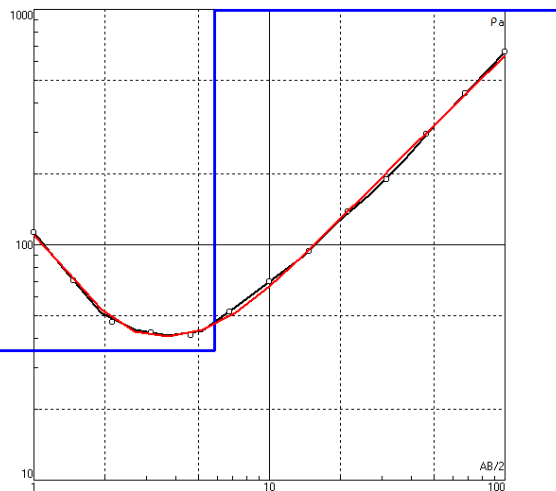
N	ρ	h	d	Alt
1	25	0.542	0.542	-0.5416
2	8	0.917	1.46	-1.458
3	4.44	6.25	7.7	-7.703
4	1.12	14.3	22	-22
5	95			



N	Descripción	Espesor r (m)	Profundidad d (m)	Resistividad d (Ωm)
1	Suelo limo arenosa	0.542	0.542	25
2	Material poco permeable (limo-arenoso)	0.917	1.46	8
3	Material poco permeable (limo-arcillas)	6.25	7.7	4.44
4	Material muy poco permeable (arcillas)	14.3	22	1.12
5	Posible continuidad de material permeable (Gravas y arenas).			95

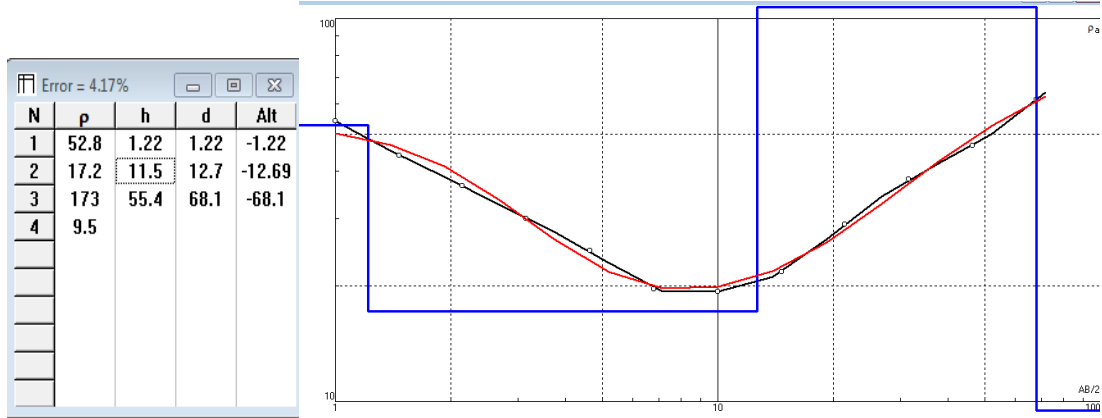
DM-02

N	p	h	d	Alt
1	187	0.5	0.5	-0.5
2	35.5	5.35	5.85	-5.845
3	10020	14.8	20.6	-20.63
4	39794			



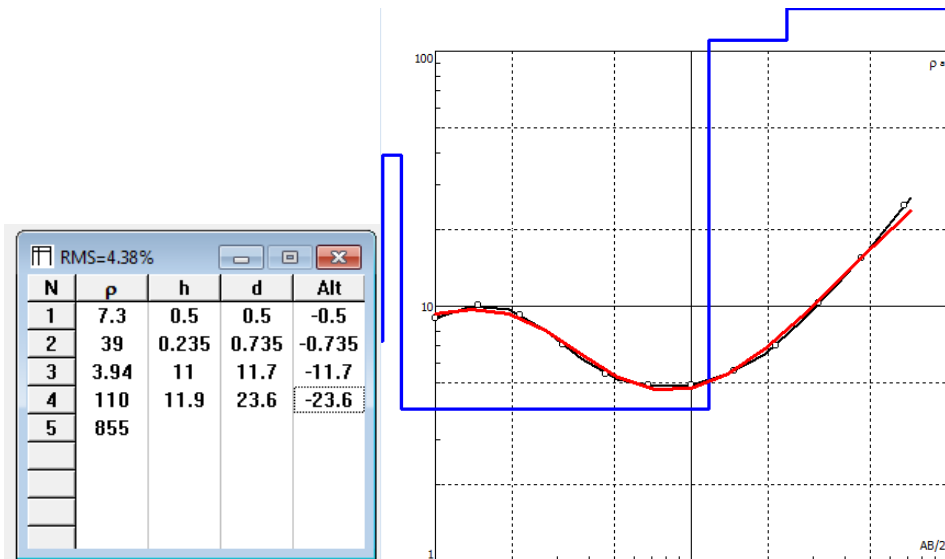
N	Descripción	Espesor r (m)	Profundidad d (m)	Resistividad d (Ωm)
1	Suelo areno limoso	0.5	0.5	187
2	Material semipermeable (areno-limoso)	5.35	5.85	35.5
3	Basamento	14.8	20.6	10020
4	Posible continuidad de basamento			39794

DM-03



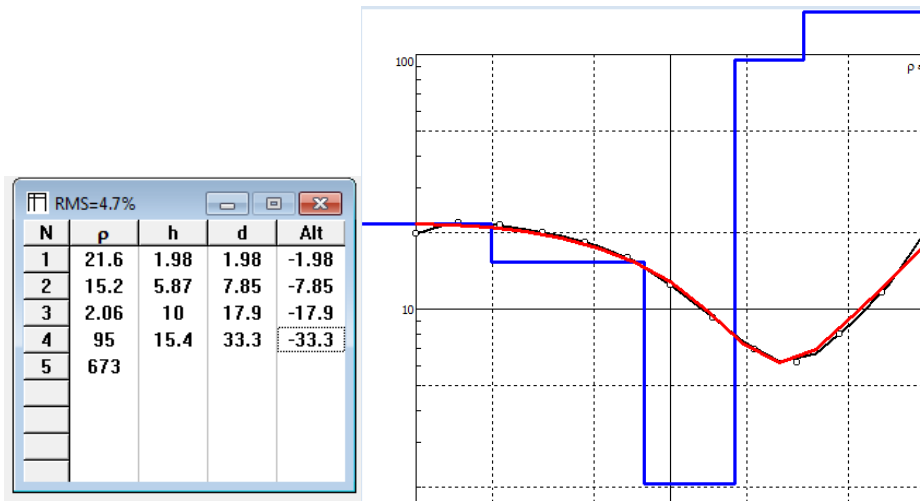
N	Descripción	Esesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo areno limoso	1.22	1.22	52.8
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	11.5	12.7	17.2
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	55.4	68.1	173
4)	Posible presencia de material poco permeable (limo-arcillas)			9.5

CD-01



N	Descripción	Espe- sor (m)	Profundida d (m)	Resistivida d (Ω m)
1	Suelo limo-arenosa	0.5	0.5	7.3
2	Material semipermeable (areno-limoso)	0.235	0.735	39
3	Material poco permeable (limo-arcillas)	11	11.7	3.94
4	Material muy permeable (gravas y arenas)	11.9	23.6	110
5	Posible continuidad de material muy permeable			855

CD-02

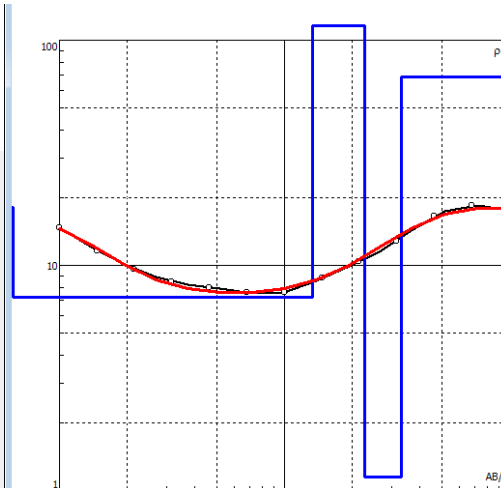


N	Descripción	Espe- sor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo-arenosa	1.98	1.98	21.6
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	5.87	7.85	15.2
3	Material muy poco permeable (arcillas)	10	17.9	2.0
4	Material muy permeable (Gravas y arenas)	15.4	33.3	95
5	Posible continuidad de material muy permeable			673

CD-03

RMS=2.63%

N	ρ	h	d	Alt
1	18.1	0.62	0.62	-0.62
2	7.18	12.7	13.3	-13.3
3	116	9.4	22.7	-22.7
4	1.15	10.3	33	-33
5	68.7			

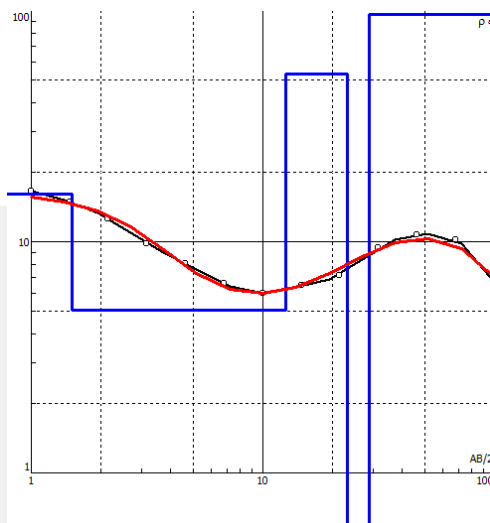


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo areno-limoso	0.62	0.62	18.1
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	12.7	13.3	7.18
3	Material muy permeable (Gravas y arenas)	9.4	22.7	116
4	Material muy poco permeable (arcilla)	10.3	33	1.15
5	Posible continuidad de material muy permeable (Gravas y arenas)			68.7

CD-04

RMS=4.15%

N	ρ	h	d	Alt
1	16.1	1.5	1.5	-1.5
2	5.07	11.1	12.6	-12.6
3	53.4	10.5	23.1	-23.1
4	0.0188	5.7	28.8	-28.8
5	96.1			

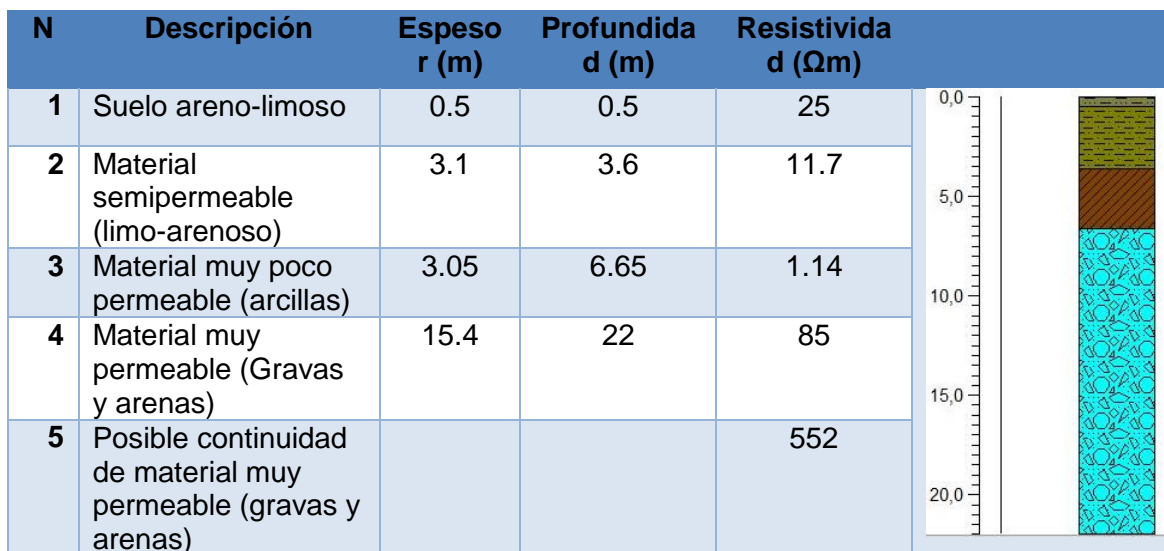
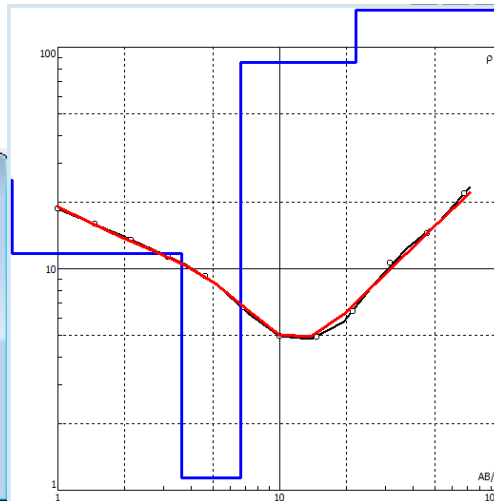




CD-05

RMS=3.3%

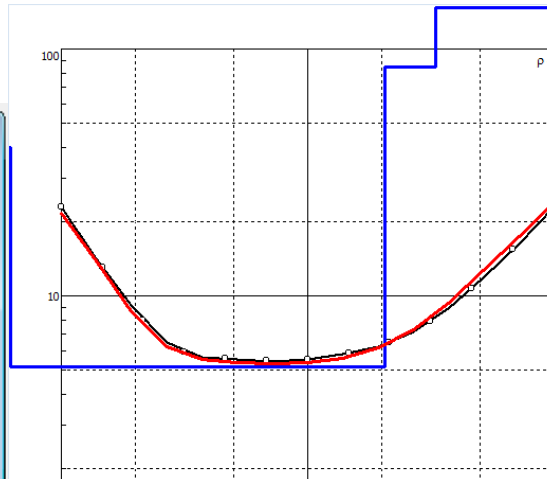
N	ρ	h	d	Alt
1	25	0.5	0.5	-0.5
2	11.7	3.1	3.6	-3.6
3	1.14	3.05	6.65	-6.65
4	85	15.4	22	-22
5	552			



CD-06

RMS=4.31%

N	ρ	h	d	Alt
1	40	0.5	0.5	-0.5
2	5.18	20.1	20.6	-20.6
3	84.5	12.4	33	-33
4	627			

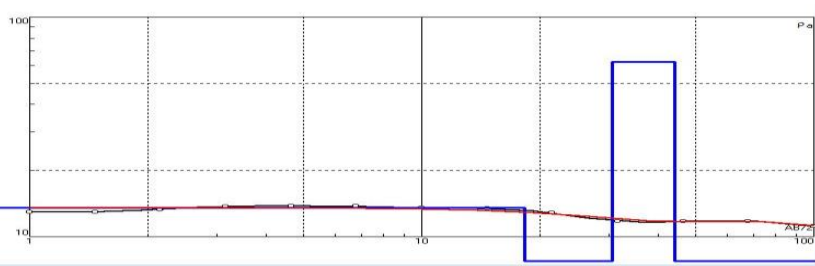


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo areno-limoso	0.5	0.5	40
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	20.1	20.6	5.18
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	12.4	33	84.5
4	Posible continuidad de material muy permeable (gravas y arenas)			627

CD-07

Error = 2.2%

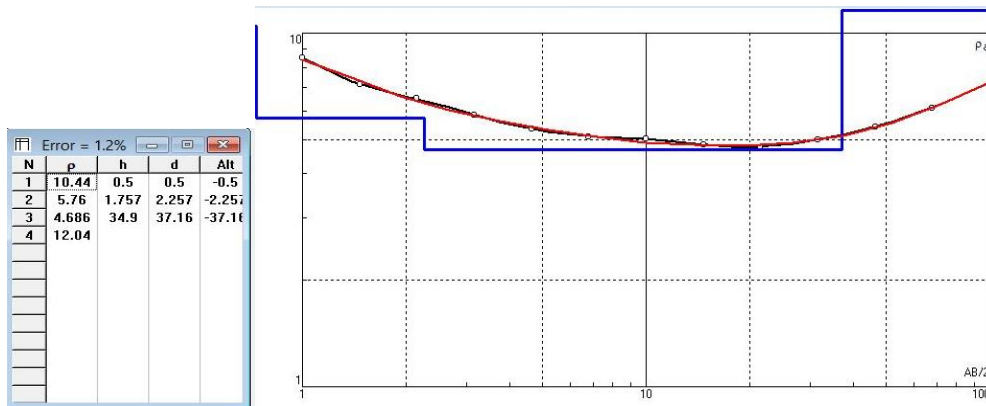
N	ρ	h	d	Alt
1	13.5	18.3	18.3	-18.3
2	5.78	12.3	30.6	-30.6
3	62.4	13.7	44.3	-44.3
4	1.34			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	18.3	18.3	13.5
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	12.3	30.6	5.78
3	Material muy permeable (arenas-limosas)	13.7	44.3	62.4
4	Material poco permeable (limo-arcillas)			1.34



CD-08



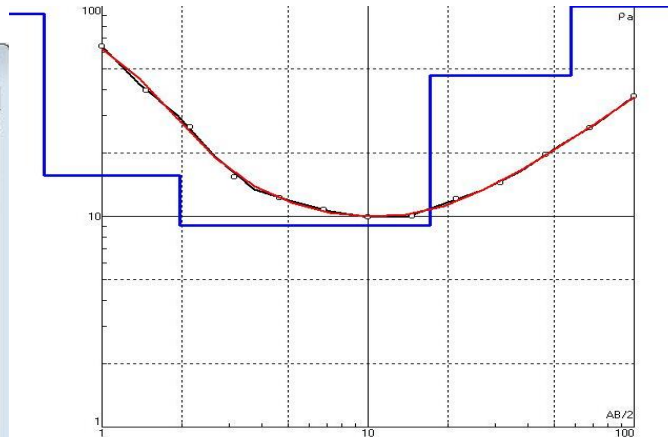
N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	0.5	0.5	10.44
2	Material poco permeable (limo-arenoso)	1.757	2.257	5.76
3	Material poco permeable (limo-arcilloso)	34.9	37.16	4.686
4	Posible presencia de material semipermeable (limo-arenoso)			12.04



CD-09

Error = 2.65%

N	ρ	h	d	Alt
1	91.3	0.608	0.608	-0.6084
2	15.6	1.35	1.95	-1.953
3	9.06	15.2	17.2	-17.18
4	46.7	40.7	57.9	-57.85
5	706			

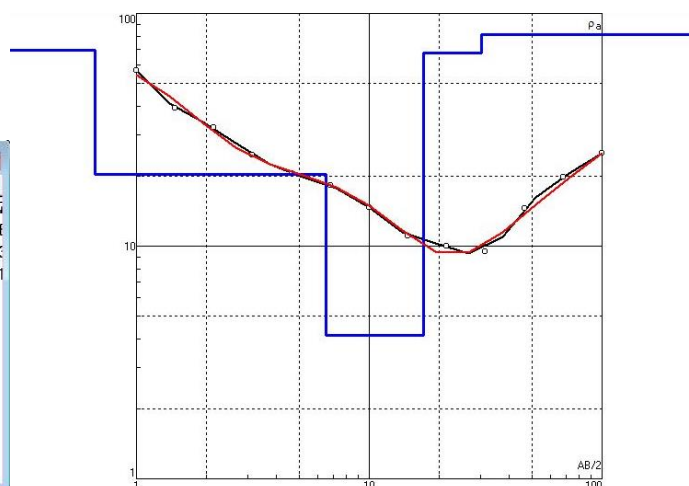


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo-arcillosa	0.608	0.608	91.3
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	1.35	1.95	15.6
3	Material poco permeable (limo-arcillas)	15.2	17.2	9.06
4	Material semipermeable (areno-limoso)	40.7	57.9	46.7
	Posible presencia de material muy permeable			706

CD-10

Error = 4.31%

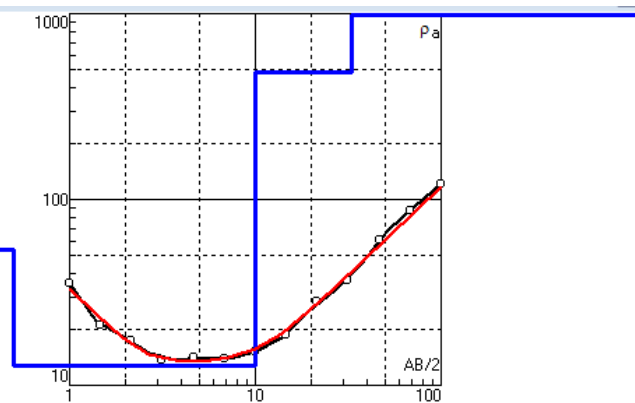
N	ρ	h	d	Alt
1	69.2	0.667	0.667	-0.667
2	20.4	5.88	6.55	-6.55
3	4.13	10.6	17.1	-17.1
4	67.7	13.2	30.3	-30.31
5	81.3			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arcillosa	0.667	0.667	69.2
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	5.88	6.548	20.4
3	Material poco permeable (limo-arcillas)	10.6	17.13	4.13
4	Material semipermeable (areno-limoso)	13.2	30.31	67.7
5	Posible continuidad de material muy permeable			81.3

CD-11

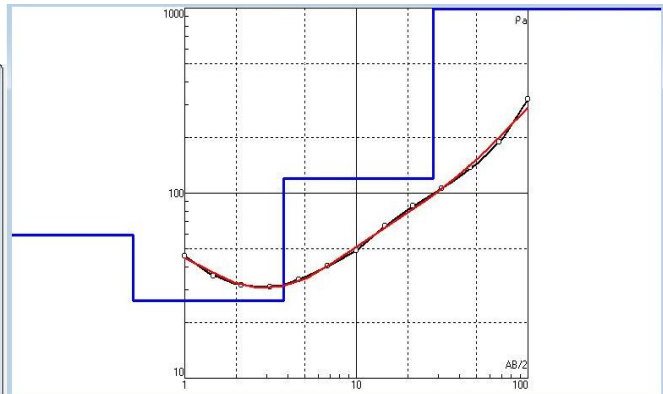
N	p	h	d	Alt
1	53.8	0.5	0.5	-0.5
2	12.6	9.46	9.96	-9.96
3	480	23	33	-33
4	1472			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad d (m)	Resistividad d (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	0.5	0.5	62
2	Material poco permeable (limo-arenoso)	9.46	9.96	12.6
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	23	33	480
4	Material semipermeable (limo-arenoso)			1472

CD-12

N	p	h	d	Alt
1	59.6	0.5	0.5	-0.5
2	26.2	3.29	3.79	-3.791
3	120	24.4	28.2	-28.17
4	14956			



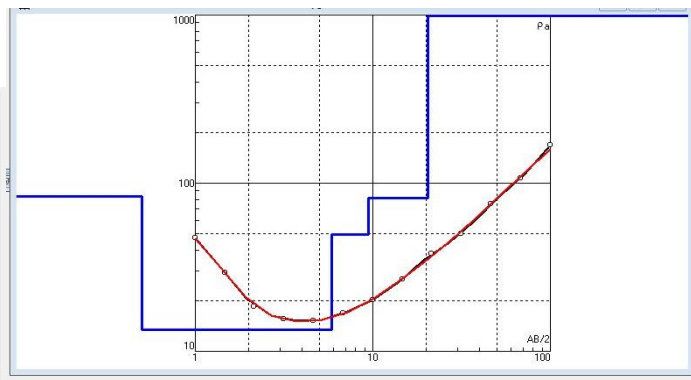
N	Descripción	Esesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arcilloso	0.5	0.5	59.6
2	Material semipermeable (areno-limoso)	3.29	3.791	26.2
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	24.4	28.17	120
4	Basamento			14956

0,0

25,0

CD-13

N	p	h	d	Alt
1	83.03	0.5	0.5	-0.5
2	13.45	5.343	5.843	-5.8428
3	49.49	3.592	9.434	-9.4343
4	81.28	10.98	20.42	-20.418
5	7063			



N	Descripción	Esesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arcilloso	0.5	0.5	83.03
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	5.343	5.8428	13.45
3	Material semipermeable (areno-limoso)	3.592	9.4343	49.49
4	Material muy permeable. (gravas y arenas)	10.98	20.418	81.28
5	Basamento			7063

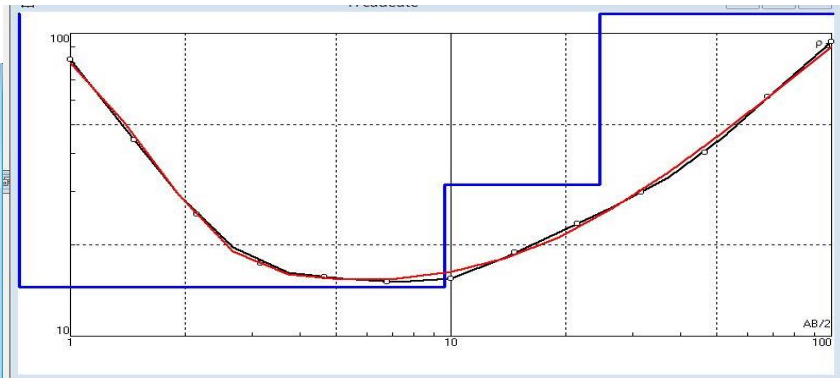
0,0

10,0

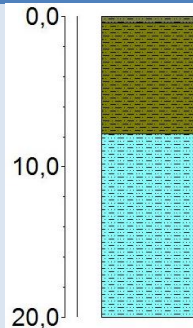
20,0

CD-14

N	p	h	d	Alt
1	140	0.54	0.54	-0.5398
2	14.6	9.08	9.62	-9.621
3	31.6	14.9	24.6	-24.57
4	9676			

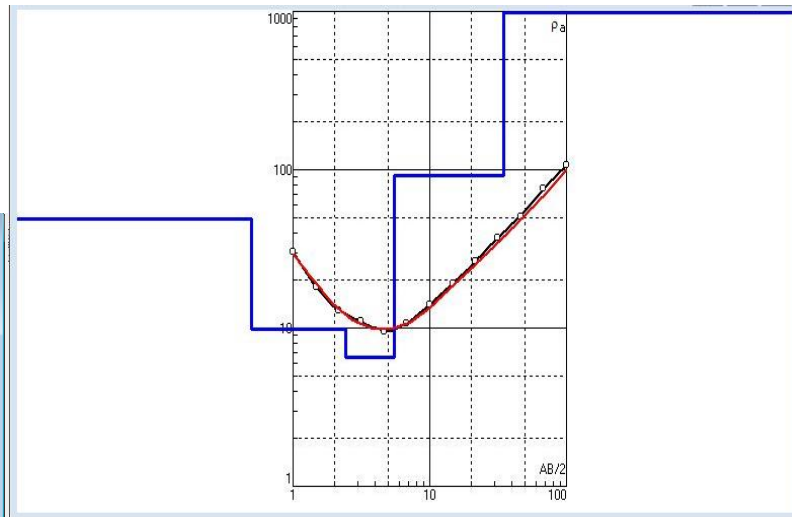


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arcilloso	0.54	0.54	140
2	Material semipermeable (limo-arenoso)	9.08	9.621	14.6
3	Material semipermeable (areno-limoso)	14.9	24.57	31.6
4	Basamento			9676



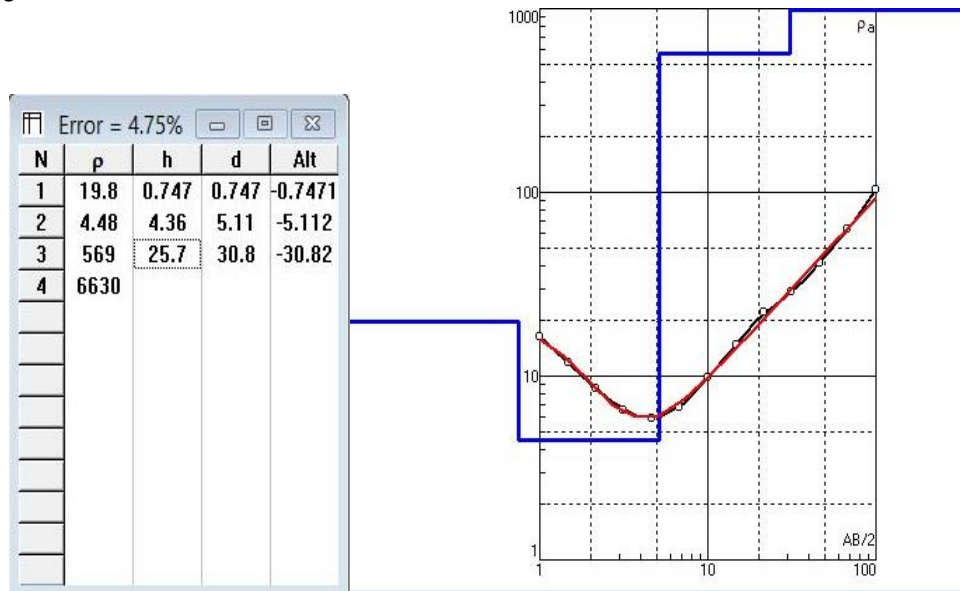
CD-15

N	p	h	d	Alt
1	49.2	0.5	0.5	-0.5
2	9.05	1.92	2.42	-2.418
3	6.49	3.08	5.5	-5.498
4	91.4	29	34.5	-34.52
5	12818			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo areno limoso	0.5	0.5	49.2
2	Material poco permeable (limo-arenoso)	1.92	2.418	9.85
3	Continuidad de material poco permeable (limo-arenoso)	3.08	5.498	6.49
4	Material muy permeable (gravas y arenas) saturado	29	34.52	91.4
5	Basamento			12818

CD-16

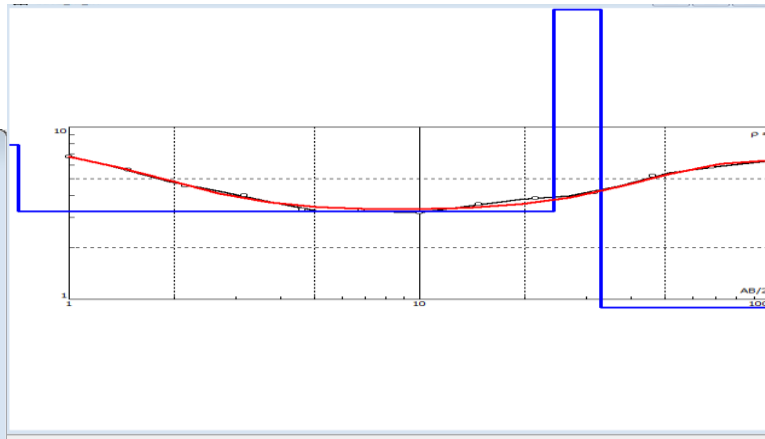


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo areno-limoso	0.747	0.747	19.8
2	Material poco permeable (limo-arenoso) saturado	4.36	5.11	4.48
3	Basamento	25.7	30.82	569
4	Posible continuidad de Basamento			6630

LB-01

RMS=3.11%

N	ρ	h	d	Alt
1	7.85	0.715	0.715	-0.7153
2	3.25	23.4	24.1	-24.12
3	70	8.88	33	-33
4	0.893			

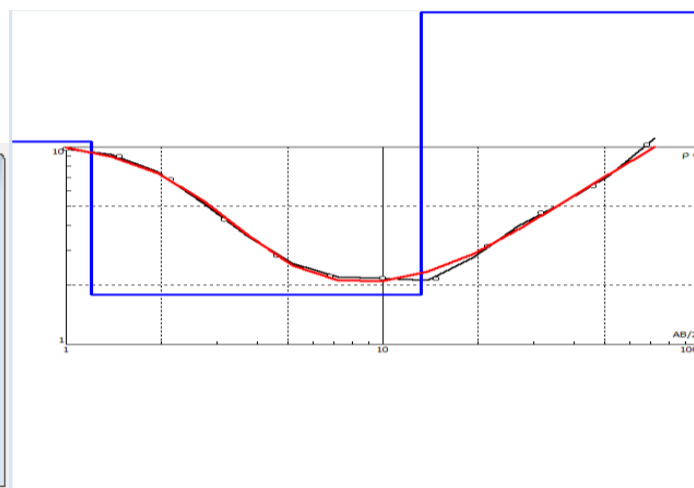


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo-arenoso	0.715	0.715	7.85
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	23.4	24.1	3.25
3	Material semipermeable. (areno-limoso)	8.88	33	70
4	Posible continuidad de material muy poco permeable (Limo- arcillas)			0.893

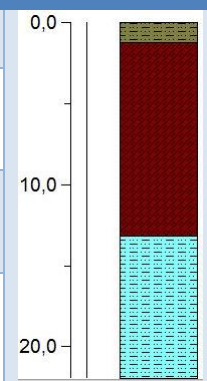
LB-02

RMS=4.6%

N	ρ	h	d	Alt
1	10.7	1.2	1.2	-1.205
2	1.78	12	13.2	-13.23
3	50	8.77	22	-22
4	495			

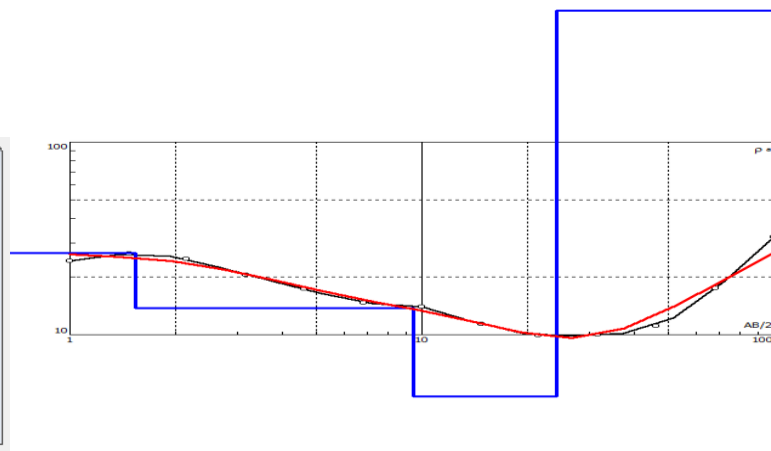


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	1.2	1.2	10.7
2	Material poco permeable (limo-arcillas) saturadas	12	13.2	1.78
3	Material semipermeable (areno-limoso)	8.77	22	50
4	Posible presencia de material muy permeable.			495

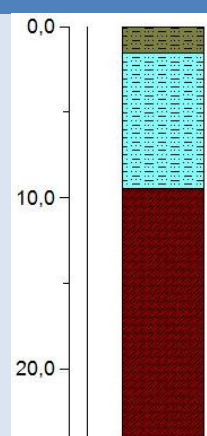


LB-03

N	ρ	h	d	Alt
1	26.5	1.53	1.53	-1.532
2	13.8	7.9	9.43	-9.43
3	4.76	14.8	24.2	-24.18
4	4339			



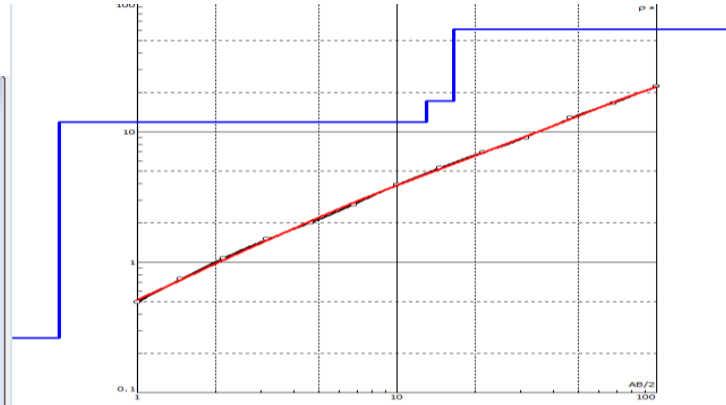
N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	1.53	1.53	26.5
2	Material semipermeable (areno-limoso) saturado	7.9	9.43	13.8
3	Material poco permeable (limo-arcillas).	14.8	24.2	4.76
4	Basamento			4339



LB-04

RMS=2.32%

N	ρ	h	d	Alt
1	0.263	0.5	0.5	-0.5
2	11.8	12.5	13	-12.95
3	17.3	3.58	16.5	-16.53
4	61			

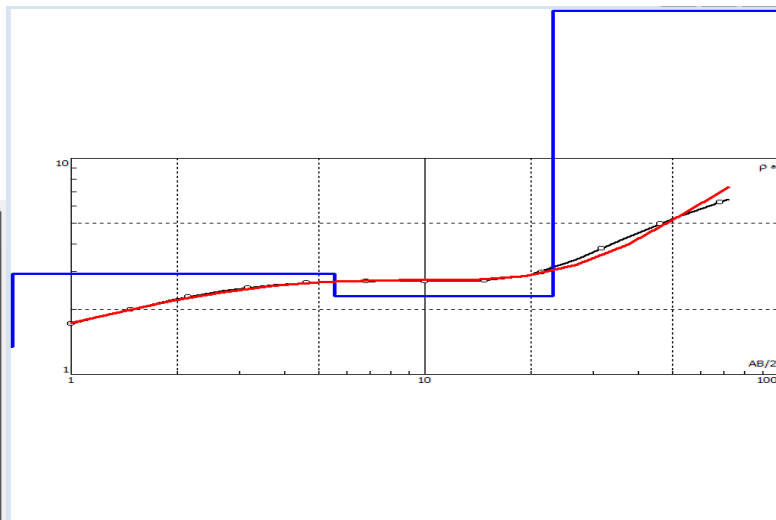


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	0.5	0.5	0.263
2	Material poco permeable (limo-arcilloso) saturado	12.5	13	11.8
3	Material semipermeable (areno-limoso)	3.58	16.5	17.3
4	Posible continuidad de material semipermeable.			61

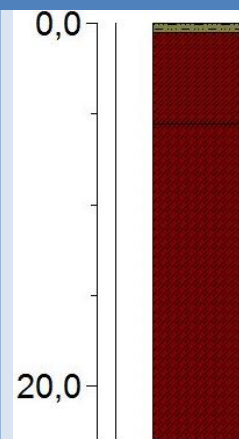
LB-05

RMS=4.28%

N	ρ	h	d	Alt
1	1.34	0.5	0.5	-0.5
2	2.93	5.05	5.55	-5.554
3	2.3	17.4	23	-23
4	472			



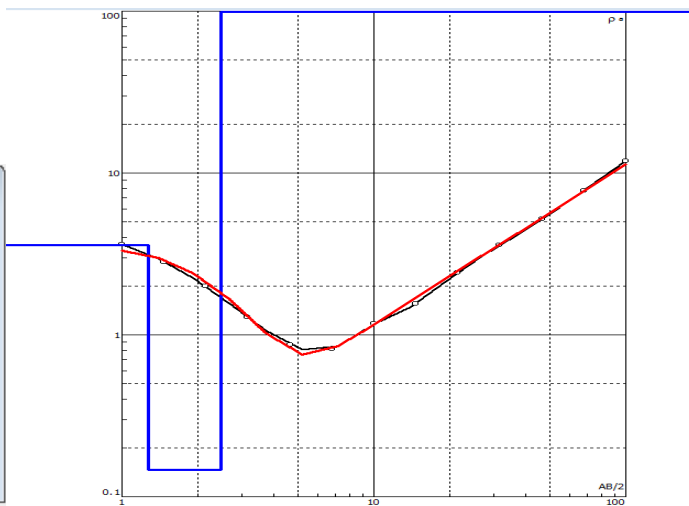
N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	0.5	0.5	1.34
2	Material poco permeable (limo-arcillas)	5.05	5.55	2.93
3	Continuidad de material poco permeable (limo-arcillas)	17.4	23	2.3
4	Posible continuidad de material muy permeable.			472



LB-06

RMS=4.86%

N	ρ	h	d	Alt
1	3.6	1.27	1.27	-1.275
2	0.146	1.21	2.48	-2.483
3	253	30.5	33	-33
4	570			



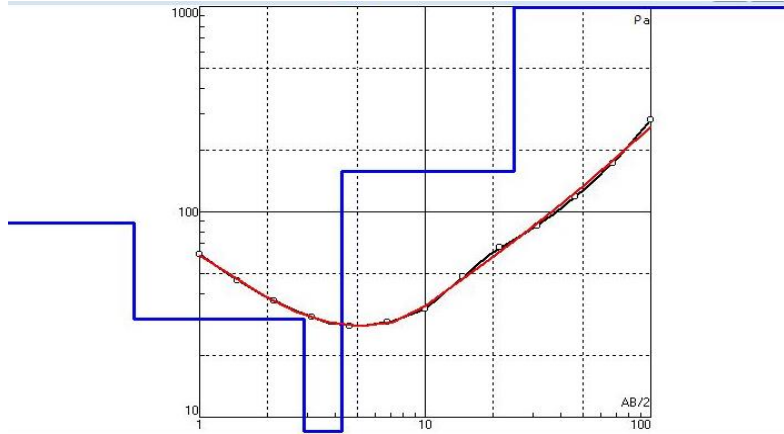
N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Suelo limo-arenoso	1.27	1.27	3.6
2	Material muy poco permeable (limo-arcillas)	1.21	2.48	0.146
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	30.5	33	253
4	Material muy permeable (gravas y arenas)			570



LB-07

Error = 3.35%

N	ρ	h	d	Alt
1	88.4	0.511	0.511	-0.5112
2	30	2.38	2.89	-2.891
3	8.55	1.36	4.26	-4.256
4	157	20.5	24.8	-24.79
5	9719			

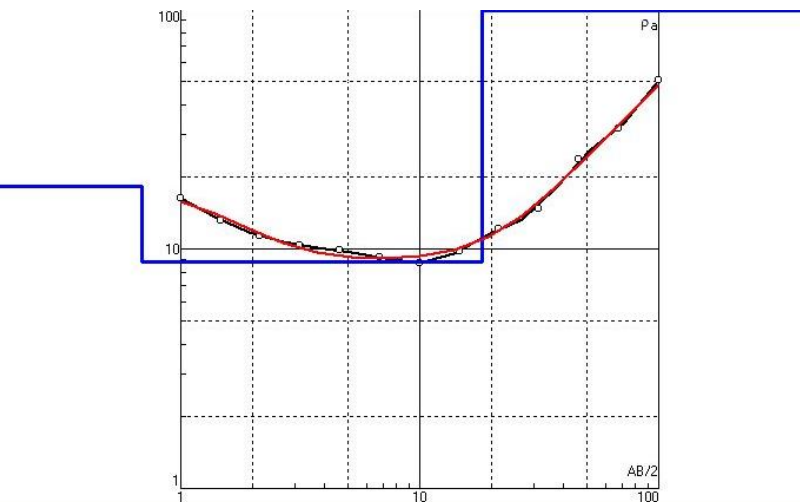


N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo-arenoso	0.511	0.511	88.4
2	Material semipermeable (areno-limoso)	2.38	2.891	30
3	Material poco permeable (limo-arcillas)	1.36	4.256	8.55
4	Material muy permeable (gravas y arenas)	20.5	24.79	157
5	Basamento			9719

LB-08

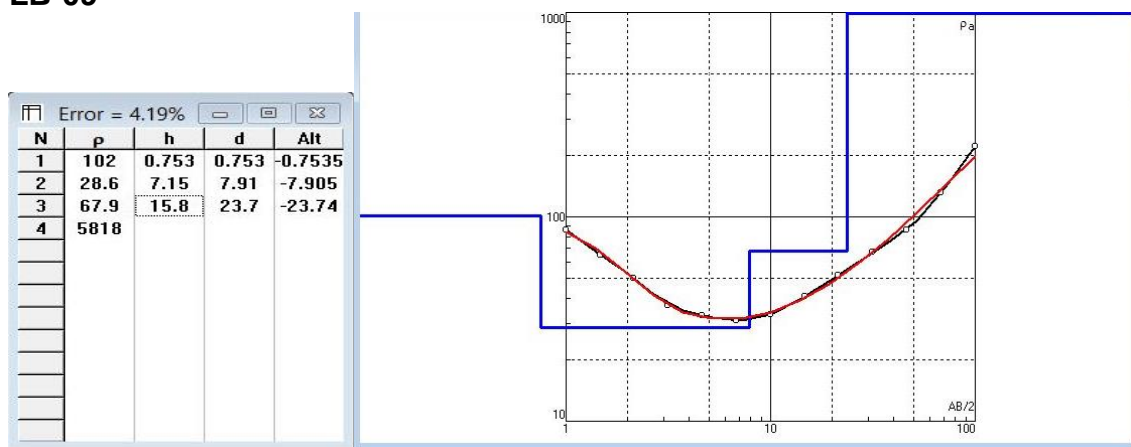
Error = 3.63%

N	ρ	h	d	Alt
1	18.2	0.689	0.689	-0.6889
2	8.79	17.5	18.2	-18.21
3	537	5.57	23.8	-23.78
4	2856			



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo-arcilloso	0.698	0.698	18.2
2	Material pocopermeable (limo-arcilloso)	17.5	18. 21	8.79
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	5.57	23.78	537
4	Basamento			2856

LB-09



N	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Suelo limo-arcillosa	0.7535	0.7535	102
2	Material semipermeable (areno-limoso)	7.15	7.905	28.6
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	15.8	23.74	67.9
4	Basamento			5818

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, A. L. (2011). Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Álvarez Litben, Silvia Graciela y Laura Zulaica. 2015. Indicadores de sustentabilidad en sistemas de albarradas: aportes metodológicos (Ensayo) o Indicators of sustainability in the albarradas systems: methodological contributions. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales Flacso - Ecuador, 18:184-207.

Amado Garzaro, J. (1990). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Baja del Río Manglaralto Provincia del Guayas. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Arévalo, M. (2016). Tesis de Maestría (no publicada). Propuesta de Diseño de Construcción, Acondicionamiento de un pozo de agua y su incidencia en la Vulnerabilidad del acuífero costero en Manglaralto. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Auge, M. (2008). Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea. Profesor Titular de Hidrogeología. Universidad de Buenos Aires.

Bharata, H.S., Darshan, K.H., Pavan, S., Spoorthy, S.S. 2016. Delineation Watershed and Estimation of Discharge of River Shimsha Using GIS. Channabasa Veshwara Institute Technology, Department of Civil Engineering. Indian Institute of Science, Bengaluru. Sitio Web: http://www.kscst.iisc.ernet.in/spp/40_series/39S_bestprojreports/39S_BE_0106.pdf

Boggiano, M. (2013). Carta Financiera, “Los 10 países con más reservas de agua en el mundo”. Sitio V' ' <http://www.cartafinanciera.com/tendencia-actual/los-10-paises-con-mas-reservas-de-agua-del-mundo>

Borbor, A. & Vera, J. (2014). Estudio Para la Optimización de la Distribución de Agua para Consumo Humano, por parte de la Junta de Manglaralto, Santa Elena, Ecuador. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Calles, J. (2016). Monitoreo de la calidad y cantidad del agua. Obtenido de: <http://agua-ecuador.blogspot.com/2016/07/monitoreo-de-la-calidad-y-cantidad-del.html> Blog El Agua en el Ecuador.

Campos A, Sinichenko E, Gritsuk I. 2014. Availability of Water Resources in Ecuador. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Sitio Web: https://www.academia.edu/8618821/Disponibilidad_de_agua_en_Ecuador_2014

Carrión, P. & Montalván, J. (2016). Determination of plausible recharge zones in the aquifer Manglaralto River using isotopic techniques (Ecuador).

Centro de Agua y Desarrollo Sustentable. CADS-ESPOL, 2013. Proyecto de Evaluación de Vulnerabilidad y Reducción de Riesgo de Desastres a Nivel Municipal en el Ecuador. Análisis de vulnerabilidad del Cantón Santa Elena, Documento Preliminar. Sitio Web: <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/859/1/Perfil%20territorial%20SANTA%20ELENA.pdf>

CEPAL (2012) Diagnóstico de la Información Estadística del Agua. Ecuador – CEPAL. Sitio Web:

<http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>

CIPAT-ESPOL, INFORME TÉCNICO., 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. Informe Final Producto II: “Valdivia (Sinchal, Carriñal, Barcelona), Dos Mangas, Cadeate, Libertador Bolívar, 12 De Octubre”

CIPAT-SENAGUA-AECID, 2014. Proyecto: Elaboración Mapa Hidrogeológico a escala 1:250.000. (No publicado).

Coello, T., Cueva, M., Valencia, J., 2015. Zonificación del Potencial de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Río Jama. Proyecto Final Materia de Software en Ciencias Geológicas. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Constitución de la República del Ecuador, (2008). Capítulo segundo; Derecho del buen vivir.

Dirección General de Geología y Minas, DDGM. (1974). Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos. Hoja Geológica Manglaralto. Escala 1:100.000.

Dominguez, P. (2014). Plan Estratégico para la Comuna Sitio Nuevo, Parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Administrativas. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Santa Elena, Ecuador.

Eguez, A., Alvarado, A., Yépez, H., Machette, M., Costa, C., L. Dart, R., and Bradley, L. (2003) Database and Map of Quaternary Faults and Folds of Ecuador and its offshore regions. A Project of the International Lithosphere Program Task Group II-2, Major Active Faults of the World. USGS.

Endara, E. (2014). La Mujer en la Gestión del Agua, en el Contexto de la Junta Administradora de Agua Potable de Manglaralto, de la Península de Santa Elena, desde el Año 2012. Tesis de Pregrado. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Ecuador.

Ereño, C. y Núñez, S. (2006). Unidad 6. Climatología. Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires.

Sitio

Web:

http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/Unidad_%2005_2006.pdf

FAO, FIDA y PMA. 2012. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2012. El crecimiento económico es necesario pero no suficiente para acelerar la reducción del hambre y la malnutrición. Roma, FAO.

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Manglaralto. GADM. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2014 – 2019. Obtenido de: <http://www.manglaralto.gob.ec/>

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid, España. Pearson Education S.A. 744 p.

González, R. (2013) Tesis de Pregrado. Plan de Comercialización para la Línea de Productos a Base de Tagua de la Comuna Dos Mangas, Parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena, Ecuador. Facultad de Ciencias Administrativas. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Santa Elena Ecuador.

Herrera, G. (2012). Tesis de Maestría. La Participación en el Desarrollo Local Sostenible. El Caso de la Gestión del Agua en la Provincia de Santa Elena. Universidad de Huelva. España.

Herrera, G. (2015). Tesis Doctoral. Estudio para un Modelo de Gestión de un Acuífero Costero, mediante Metodologías Participativas y Análisis Geoestadístico en el Marco del Desarrollo Local. Manglaralto, Ecuador. Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid. España.

Ibrahim-Bathis, K., Ahmed, S.A. 2016. Geospatial technology for delineating groundwater potential zones in Doddahalla watershed of Chitradurga district, India, Egypt. J. Remote Sensing Space Sci., <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.06.002>

Instituto Espacial Ecuatoriano. IEE. 2012. "Proyecto de Generación de Información a Escala 1:25.000 a nivel Nacional" para el cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena. Ecuador.

Instituto Andaluz de Geofísica – Universidad de Granada, IAG-UGR. (2013). Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Tema 2. Prospección Eléctrica en Corriente Continua.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2010). VII Censo de Población y VI de Vivienda 2010.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI. (2013). Mapa de Evapotranspiración Potencial. Obtenido de:
<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR. (2016). Obtenido de:
<http://www.inocar.mil.ec/>

Instituto Tecnológico Geominero de España, IGME. (1999). Conoce las Aguas Subterráneas. Ficha 5: Recarga Artificial de Acuíferos.

Instituto Tecnológico Geominero de España. Tecnología Básica de la Recarga de Acuíferos. IGME.

Jasrotia, A., Kumar, A., Singh, R. 2016. Integrated remote sensing and GIS approach for delineation of groundwater potential zones using aquifer parameters in Devak and Rui watershed of Jammu and Kashmir, India. Saudi Society for Geosciences 2016.

Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. 2002. An Introduction to Geophysical Exploration (Third Edition) Malden, MA: Blackwell Science.

Keller, Edward A. 1942. Introduction to Environmental Geology. 5th ed. Pearson. Prentice Hall.

Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014. Ley de Aguas. Ecuador.

Martín Loaches, M., Alaminos, C., Reyes, J. 2015. Hydrogeological Survey Methodology and Set Wells Drilled With A Hand Pump. Application in the Region Crystal Caimbambo (Benguela, Angola). Revista Electrónica de Medio Ambiente

Merino, E. (2014). Tesis de Pregrado. Evaluación de la intrusión Salina en un Acuífero Costero y el impacto al Suministro de Agua Potable en Manglaralto Provincia de Santa Elena. 2014. Facultad de Ciencias Naturales Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. MAGAP. 2002. Proyecto MAG-IICA-CLIRSEN, Cartografía Base, Cuencas, 1:250.000.

Montalvan, J. (2008) Tesis de Grado. Caracterización Geoeléctrica del Acuífero de la Cuenca del Río Olón para Propuesta de Plan de Explotación. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Núñez del Arco, E. 2003. Geología del Ecuador. Profesor de la Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

ONU. (2015). Objetivos del Milenio. New York.

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 Península de Santa Elena, y de las Cordilleras Chongón Colonche, Costera y Occidental. Centro de Investigaciones Geológicas Guayaquil (CIGG). Petroproducción-Petroecuador. Guayaquil, Ecuador.

Ortiz, C. & Rivas, E. (2014). Tesis de Pregrado. Diseño de una red de Aspersión con Alimentación Directa a Partir de Unidades Hidrogeológicas

Favorables (Acuíferos y/o Acuitados y/o Acuitados) de la Zona Intervenida (o sus cercanías) y de Activación Automática ante Anomalías Físicas Detectadas Mediante Sensores, Para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales o Similares, en Zonas de Difícil Acceso - Propuesta Metodológica - Caso Progreso, Provincia del Guayas. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

PNUD, 2006. Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua.

PNUD, WWDR (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo) 2016. El Agua y el Empleo. Cifras y Datos

Quinteros, V. (2013). Tesis de Pregrado. Propuesta de Gestión del Recurso Agua Mediante la Utilización de Conocimientos Ancestrales en la Parroquia Manglaralto. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador.

Ramírez, M. 2004. El Método de Jerarquías Analíticas de Saaty en la Ponderación de Variables. Aplicación al Nivel de Mortandad y Morbilidad en la Provincia del Chaco. Facultad de Humanidades, Departamento de

Geografía. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004. Chaco, Argentina.

Rojas, J.C. (2010). Tesis de Pregrado. Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Valdivia. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Saeteros, M. (2014). Tesis de Pregrado. Estimación de la Tarifa del Agua de los Acuíferos Costeros para la Gestión Sostenible del Recurso. Caso de Estudio: Manglaralto, Santa Elena, Ecuador. Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Salazar, M. (2015) Tesis de Grado. Plan de Desarrollo Económico para la Comuna Pajiza de la Parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena, Ecuador, de Universidad Estatal Península de Santa Elena. Sitio Web:
<http://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2655/1/UPSE-TAE-2015-0043.pdf>

Sánchez J., (2015). Conceptos fundamentales de Hidrogeología. Universidad Salamanca.

Sánchez J., (2015). El Ciclo Hidrológico. Universidad de Salamanca.

SENPLADES, 2009. Consejo Nacional de Planificación. Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013.

Shukla, S. M. 2014. Spatial Analysis for Groundwater Potential Zones using GIS and Remote Sensing in the Tons Basin of Allahabad District, Uttar Pradesh, (India). Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences, 84(4), 587–593. doi:10.1007/s40010-014-0157-1

Suárez, S. (2015) Tesis de Grado. Estudio de Factibilidad para la Implementación de Cabañas Ecológicas en la Cabecera de Manglaralto, Cantón Santa, Provincia de Santa Elena. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Sitio Web: <http://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2599/1/UPSE-TDT-2015-0042.pdf>

Suganthi, S., Elango, L. and Subramanian, S. 2013. Groundwater potential zonation by Remote Sensing and GIS techniques and its relation to the Groundwater level in the Coastal part of the Arani and Koratalai River Basin, Southern India. Earth Sciences Research Journal.

Universidad Nacional de Colombia. Sitio Web:

<http://revistas.unal.edu.co/index.php/esrj/article/view/34011/44761>

Toalombo, M. (2016). Tesis de Grado. Exploración de aguas subterráneas en Cadeate para el abastecimiento de la Comunidad. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

USGS, 2016. U.S. Department of the Interior. Water Distribution. Tomado de: <https://water.usgs.gov/gotita/waterdistribution.html>

Valdez, F. (Ed). (2006). Agricultura Ancestral, Camellones y Albarradas (Primera Edición ed.). Quito, Ecuador. Ediciones Abya-Yala. Sitio Web: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010039069.pdf

Yeh H-F, Cheng Y-S, Lin H-I, Lee C-H, (2015). Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan, Sustainable Environment Research, doi: 10.1016/j.serj.2015.09.005.

Zaidi, F.K., Nazzal, Y., Ahmed, I., Naeem, M., Jafri, M.K., (2015). Identification of potential Artificial Groundwater Recharge zones in North

Western Saudi Arabia using GIS and Boolean Logic, Journal of African
Earth Sciences, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2015.07.008.