



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“CONTRIBUCIÓN DE LA GEOLOGÍA APLICADA PARA LA MEJORA EN EL
DISEÑO DE UN DIQUE EN LA SUBCUENCA DEL RIO MANGLARALTO,
PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentado por:

JHON HENRY CAMPOVERDE CABRERA

IVÁN ALFREDO FAJARDO GONZALEZ

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo logrado, por sus consejos y apoyo día a día, su confianza en mí se ve reflejado en la culminación con éxito en esta etapa estudiantil. A mis hermanos, por la paciencia que me tuvieron en estos 5 años.

A mis profesores, mi tutor Paul Carrión por haberme permitido participar de este proyecto, a mis demás profesores, que estuvieron a la altura de ser unos excelentes docentes. A mis amigos de ESPOL.

Jhon Henry Campoverde Cabrera

A mis padres Iván y Tania, mis pilares fundamentales durante estos años, a mis hermanos Álvaro y carolina a ellos les dedico esta obra Gracias por todo; y sin olvidar a Lobito que se metió como una piedra en el zapato a darnos mucho amor. Una dedicatoria especial a Mi RULIS para ella todo y sin duda alguna una **valiosa mujer**,
Con mucho amor.

Iván Alfredo Fajardo González

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarnos y darnos fuerza para culminar esta etapa de nuestras vidas vida.

A nuestras familias, esto fue por ustedes. A nuestro tutor Paúl César Carrión por habernos abierto las puertas del CIPAT-ESPOL para la realización de este trabajo, para aquello mucha gratitud; así como a nuestro Cotutor del proyecto Miguel Ángel Chávez, al M.Sc. David Altamirano por sus consejos.

A los amigos geólogos, del CIPAT, a todos, por sus palabras y apoyo en esta etapa crucial.

Jhon Henry Campoverde Cabrera

Iván Alfredo Fajardo González

TRIBUNAL DE PROYECTO

M.Sc. DANIEL GARCÉS
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

Ph.D. PAUL CARRIÓN
DIRECTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

M.Sc. DAVID ALTAMIRANO
MIEMBRO EVALUADOR

M.Sc. MAURIZIO MULAS
MIEMBRO EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto 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)

Jhon Henry Campoverde Cabrera

Iván Alfredo Fajardo González

RESUMEN

Los estudios geológicos fortalecen los diseños de ingeniería civil. Esta dualidad que comprende la investigación del terreno y sus propiedades, combinada con los diseños de ingeniería para realización de obras es una premisa frecuentemente olvidada, aunque teóricamente siempre presente. En el caso de Manglaralto, la búsqueda de soluciones a la creciente demanda de agua conlleva conocer geológicamente el territorio y buscar otras alternativas que provienen de su origen, del rescate del conocimiento ancestral para la configuración de innovación con tapes o diques que permitan aprovechar el paso estacional del agua superficial a través del río Manglaralto, y al mismo tiempo la creación de condiciones para la recarga artificial del almacén subterráneo (acuífero costero).

El objetivo del proyecto consistió en Proponer alternativas para la ubicación de diques en el Río Manglaralto mediante la aplicación de criterios geológicos, hidrológicos y geotécnicos para el mejor aprovechamiento del agua superficial y la recarga subterránea para la sostenibilidad del acuífero costero Manglaralto. Se Compilo información de la Geología e hidrología del área de estudio, con dicha información un análisis de factibilidad fue efectuado llegando a la obtención de dos prospectos.

Con topografía a detalle usando GPS diferencial en el sitio de mejor opción se obtuvo un modelado permitiendo conocer así que el volumen aproximado de encausamiento con una cortina de 3 metros de altura sería de 4642 m³.

Los resultados obtenidos para las muestras recolectadas in situ indican que el suelo se encuentra apto la ubicación de una estructura que permita el encausamiento de agua para la recarga del acuífero.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XII
SIMBOLOGÍA	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XXI
CAPÍTULO 1.....	24
GENERALIDADES	24
1.1 Introducción.....	25
1.2 Problemática	27
1.3 Justificación.....	33
1.4 Zona de estudio.....	36
1.5 Objetivos	38
1.5.1 Objetivo general.....	38
1.5.2 Objetivo específico.....	39

CAPÍTULO 2.....	40
GEOTECNIA BASICA.....	40
2.1 Factores geológicos y problemas geotécnicos.....	41
2.2 Métodos y aplicaciones en ingeniería geológica	43
2.2.1 Mecánica de suelos	43
2.2.2 Granulometría	44
2.2.3 Prospección geofísica y métodos directos de prospección.....	53
CAPÍTULO 3.....	59
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	59
3.1 Marco Geológico	60
3.1.1 Litoestratigrafía	60
3.1.2 Geomorfología	66
3.1.3 Hidrogeología.....	74
3.1.4 Tectónica	80
3.1.5 Sismicidad	83
3.2 Clima	95
3.2.1 Precipitaciones.....	96
3.2.2 Temperatura	98
3.3 Red hidrográfica.....	100
3.3.1 Red y frecuencia hidrográfica	101

3.4 Demanda de agua	103
3.4.1 Gestión del agua subterránea.....	106
CAPÍTULO 4.....	109
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA UBICACIÓN DE DIQUES	109
4.1 Análisis geológico-geomorfológico	110
4.2 Análisis hidrológico-hidrogeológico	113
4.2.1 Acuífero costero Manglaralto	113
4.2.2 Recarga	113
4.3 Sitios favorables para la ubicación de diques en el rio Manglaralto .	114
4.4 Conclusiones del análisis de factibilidad para la ubicación de diques	116
4.5 Selección del sitio para la ubicación del eje del dique.....	119
CAPÍTULO 5.....	123
METODOLOGÍA.....	123
5.1 Introducción.....	124
5.2 Fase de campo.....	124
5.2.1 Topografía del terreno	124
5.2.2 Modelado 3D en ArcGIS y obtención de curvas de nivel	129
5.2.3 Toma de muestras para ensayos.....	135
5.3 Fase de laboratorio	144

5.3.1 Ensayos realizados.....	144
CAPÍTULO 6.....	165
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	165
6.1 Análisis de la topografía del terreno	166
6.1.1 Geometría del dique	166
6.1.2 Capacidad superficial de almacenamiento	168
6.2 Análisis de los ensayos geotécnicos	169
CAPÍTULO 7.....	171
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	171
CONCLUSIONES	172
RECOMENDACIONES.....	173

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

CIPAT	Centro de investigación y proyectos aplicados a las ciencias De la tierra
DEM	Modelo Digital de Elevaciones
SENAGUA	Secretaria Nacional del Agua
JAAPMAN	Junta administradora del Agua de Manglaralto
WWDR	The World Water Development. Report
WWAP	The UNESCO Water Assessment Programme
NEIC	National Earthquake Information Center
IG	Instituto Geofísico de Ecuador
msnm	Metros sobre el nivel del mar
DGGM	Dirección General de Geología y minas
ASTM	American Society for Testing and Materials
RTK	Real Time Kinematic
PGA	Peak Ground acceleration
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
MSK-1956	Escala Medvedev-Sponheuer-Karnik
ESI-2007	Environment Seismic Intensity
IGM	Instituto geográfico militar

RENSIG	Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico
ETP	Evapotranspiración
CERECIS	Centro Regional de Sismología para América del Sur
MAGAP	Ministro de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
INAMHI	Instituto Nacional de meteorología e Hidrología
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
MAE	ministerio del Ambiente
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe

SIMBOLOGÍA

N	Norte
S	Sur
NNO	Nor-Noroeste
NNE	Nor-Noreste
SSO	Sursuroeste
SSE	Sursureste
Hm ³	Hectómetro cubico
m ³	metro cubico
mm	milímetro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución del agua dulce en el mundo.	26
Figura 1.2. Escasez física y/o económica de agua a nivel Mundial.	27
Figura 1.3. Esquema de albarradas.	31
Figura 1.4. Diques artesanales realizados desde el 2013 hasta el 2017 por la JAAPMAN.	32
Figura 1.5. Dique artesanal fallado durante la época invernal.	33
Figura 1.6. Mapa de ubicación de la parroquia Manglaralto.	37
Figura 1.7. Ubicación de la subcuenca del río Manglaralto (Zona de estudio) en la cuenca de Manglaralto.	38
Figura 2.1 Granulometría. Tamices agregados grueso (Izquierda) y fino (Derecha).	45
Figura 2.2. Límites de Atterberg y diferentes estados de suelos.	47
Figura 2.3. Carta de plasticidad para la clasificación de los suelos de partículas finas en el laboratorio.	48
Figura 2.4. Límites de Atterberg.	48
Figura 2.5. Máquina de los Ángeles para prueba de Abrasión.	50
Figura 2.6. de izq. a der. Se muestra Probeta cilíndrica y ensayo triaxial en la cámara de confinamiento.	53
Figura 2.7. Dispositivo Schlumberger.	55
Figura 2.8. Calicata con maquinaria.	58

Figura 3.1. Mapa geológico de la subcuenca del río Manglaralto.	61
Figura 3.2. Perfil geológico de la subcuenca del río Manglaralto.	61
Figura 3.3. Modelo digital de elevaciones (DEM) de la subcuenca río Manglaralto.	67
Figura 3.4. Perfiles topográficos transversales a la longitud mayor de la subcuenca del río Manglaralto.	69
Figura 3.5. Perfiles topográficos obtenidos del DEM de la subcuenca del río Manglaralto.	71
Figura 3.6. Mapa de pendientes de la subcuenca río Manglaralto.	73
Figura 3.7. Depósitos aluviales del río Manglaralto y Ubicación de los pozos de la JAAPMAN.	75
Figura 3.8. Mapa espesor unidad semiconfinante del aluvial de Manglaralto.	77
Figura 3.9. Mapa espesor de la unidad acuífera del acuífero Manglaralto... ..	78
Figura 3.10. Mapa de la geometría del acuífero costero de Manglaralto.	79
Figura 3.11. Mapa de fallas locales de la subcuenca río Manglaralto.	83
Figura 3.12. Esquema estructural de la subducción entre el bloque Nor-andino y la placa de Nazca.	84
Figura 3.13. Mapa de zonificación sísmica para el margen costero ecuatoriano.	86
Figura 3.14. Distribución espacial de sismos históricos para la provincia de Santa Elena.	88

Figura 3.15. Sismos históricos con magnitudes ≥ 5 .	91
Figura 3.16. Catálogos de fallas activas, próximas a la zona de estudio.	93
Figura 3.17. Modelo de isosistas de máximas intensidades macrosísmicas estimadas desde análisis de fallas geológicas y de sismos.	95
Figura 3.18. Precipitación promedio anual, periodo 1962-2015.	97
Figura 3.19. Precipitación promedio mensual. Periodo 2000-2015.	97
Figura 3.20. Precipitación anual promedio.	98
Figura 3.21. Temperatura anual promedio.	99
Figura 3.22. subcuencas y orden de drenaje.	101
Figura 3.23. Subcuenca y orden de drenaje.	102
Figura 3.24. Mapa de densidad de drenaje.	103
Figura 3.25. Variación temporal de nivel piezométrico en pozos de agua.	105
Figura 3.26. Consumo de agua JAAPMAN.	107
Figura 4.1. Relación entre la geomorfología de la subcuenca y su geología.	112
Figura 4.2. Tasa de recarga para el acuífero costero en el río Manglaralto.	114
Figura 4.3. Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas.	116
Figura 4.4. Mapa de área favorable para la ubicación de diques en el Río Manglaralto.	118
Figura 4.5. Mapa de pozos en la subcuenca baja del Río Manglaralto.	118
Figura 4.6. Ubicación de la Junta de	120

Figura 4.7. Recorrido realizado a lo largo del río Manglaralto.....	121
Figura 4.8. Propuestas para la ubicación de diques.	121
Figura 5.1. Ensamblaje de los equipos del GPS diferencial.....	126
Figura 5.2. Instalación del trípode con la antena receptora.	126
Figura 5.3. Calibración en RTK del equipo de GPS.	127
Figura 5.4. Levantamiento GPS batimétrico en el cauce.	128
Figura 5.5. Levantamiento GPS superficial en el cauce.....	128
Figura 5.6. Puntos del levantamiento en ArcGIS.	130
Figura 5.7. Delimitación del proyecto.	131
Figura 5.8. Modelado del proyecto.....	131
Figura 5.9. Modelado digital del terreno DEM.	132
Figura 5.10. Curvas de nivel obtenidas del modelado.	132
Figura 5.11. Modelo digital del terreno en 3D, Vista superior	133
Figura 5.12. Modelo digital del terreno en 3D, Vista suroeste.....	133
Figura 5.13. Modelo digital del terreno en 3D, Vista noroeste.	134
Figura 5.14. Modelo digital del terreno en 3D, Vista noreste.	134
Figura 5.15. Ubicación de los puntos donde se realizó la toma de muestras para ensayo.	136
Figura 5.16. Toma de muestras en talud.	138
Figura 5.17. Toma de muestras de grava en la superficie para prueba de abrasión.	138
Figura 5.18. Toma de muestras a 2 metros de profundidad	139

Figura 5.19. Toma de muestras con retroexcavadora en el cauce.	139
Figura 5.20. Calicata hecha con retroexcavadora.....	140
Figura 5.21. Corte de talud para toma de muestras.....	141
Figura 5.22. Limpieza de terreno en talud para toma de muestra con tubo shelby.	141
Figura 5.23. Hincada de tubo shelby en talud.....	142
Figura 5.24. Muestra extraída en talud	142
Figura 5.25. Excavación hecha en el río.	143
Figura 5.26. Muestra de aluvial para prueba de abrasión.	144
Figura 5.27. Secado de muestras de suelo para ensayos geotécnicos.	145
Figura 5.28. Tamizado de muestras para análisis granulométrico.	146
Figura 5.29. Curva granulométrica para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.....	151
Figura 5.30. Curva granulométrica para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.....	152
Figura 5.31. Curva granulométrica para muestra tomada de la excavación en el río, P3 en la tabla XII.....	152
Figura 5.32. Curva granulométrica para muestra tomada superficialmente en el centro del río, P4 en la tabla XII.	153
Figura 5.33. Limite líquido para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.	155

Figura 5.34. Limite líquido para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.	155
Figura 5.35. Primera y segunda curva de	156
Figura 5.36. Primera y segunda curva de Esfuerzo Vs. Deformación para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.	157
Figura 5.37. Círculos de Mohr para muestra de talud izquierdo,.....	158
Figura 5.38. Círculos de Mohr para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.	158
Figura 5.39. Peso de muestras tamizadas, antes de lavar.	160
Figura 5.40. Peso de muestras tamizadas, antes de lavar	160
Figura 5.41. Peso de muestras secas,.....	161
Figura 5.42. Extracción de material luego de la prueba de los Ángeles.....	162
Figura 5.43. Peso final de muestra más recipiente, peso de recipiente	163
Figura 6.1. Plano topográfico con curvas de nivel cada 0.5m del cauce....	167
Figura 6.2. Cota base para calcular la capacidad de almacenamiento superficial.....	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Relación capacidad-Extracción.	28
Tabla II. Tiempo de agotamiento de las reservas estimadas.	29
Tabla III. Disponibilidad de agua por vertientes.....	30
Tabla IV. Problemas geotécnicos que se exponen en un terreno.	42
Tabla V. Valores de resistividad de suelos y rocas	54
Tabla VI. Clasificación de pendientes.....	73
Tabla VII. Unidades hidrogeológicas definidas en el acuífero de Manglaralto	76
Tabla VIII Registro sísmico para la región, con sismos de magnitudes ≥ 5 ..	90
Tabla IX. Catálogo de fallas activas y capaces de generar terremotos con magnitudes entre 6 y 7.	94
Tabla X. Variación mensual y anual del consumo de agua subterránea. ...	106
Tabla XI. Variación mensual y anual del consumo de agua subterránea. ..	122
Tabla XII. Resumen de ensayos realizados y ubicación de muestras.....	135
Tabla XIII. Análisis granulométrico para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.....	147
Tabla XIV Análisis granulométrico para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.....	148

Tabla XV. Análisis granulométrico para muestra tomada de la excavación en el río, P3 en la tabla XII.....	149
Tabla XVI. Análisis granulométrico para muestra tomada superficialmente en el centro del río, P4 en la tabla XII.	150
Tabla XVII. Limite líquido y limite plástico para muestra de talud izquierdo, P1 en la Tabla XII.....	154
Tabla XVIII. Limite líquido y limite plástico para muestra de talud derecho, P2 en la Tabla XII.....	154
Tabla XIX. Resultados del ensayo de Abrasión de los Ángeles.	164

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La geología aplicada busca a través del empleo de los conocimientos geológicos aportar a la solución de problemas de la ingeniería o relacionados al medio ambiente. En los proyectos de ingeniería civil es de vital importancia realizar estudios geológicos previos de la zona para garantizar un óptimo resultado en función de las características favorables o desfavorables que se presenten en el lugar, con el fin de aprovechar cualquier beneficio natural que nos proporcione el terreno y así mismo tomar en cuenta sus dificultades para luego realizar diseños efectivos.

Por esta razón es imprescindible la realización del estudio geológico para cualquier trabajo ya sea en el área de la ingeniería civil, minera o petrolera. Entonces, en este trabajo se procedió a realizar un análisis en la subcuenca de Manglaralto con el fin de proponer alternativas para la ubicación de diques en el río Manglaralto, a través de la integración de información geológica e hidrológica. Tales como mapas de zonas potenciales de agua subterránea, con la finalidad de obtener las áreas más favorables para la ubicación de un dique, estimar la capacidad de almacenamiento y toma de muestras in situ en los alrededores de su eje para la caracterización geotécnica del suelo. La superficie del planeta está constituida por un 72% de agua, del total de ese líquido solo un 2.5%

corresponde a agua dulce, el 97.5% corresponde a agua salada. (ver **Figura 1.1)**

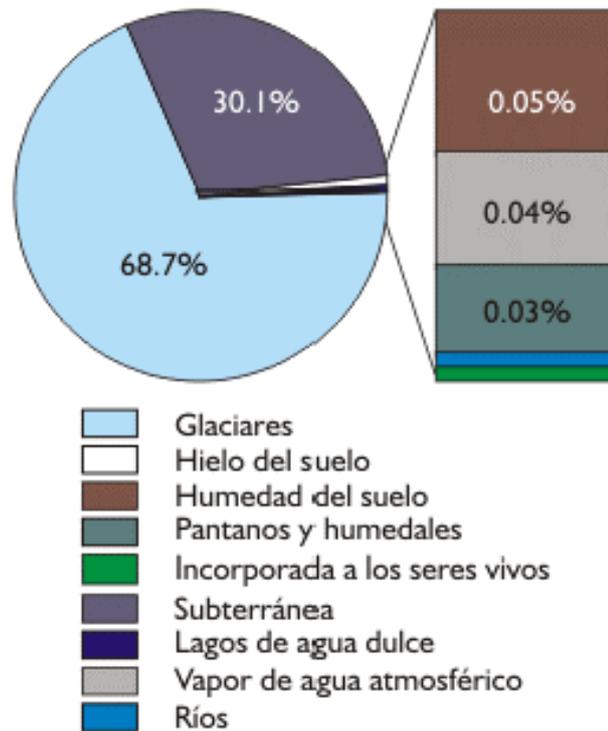


Figura 0.1. Distribución del agua dulce en el mundo.

Fuente: PNUMA, 2002.

Existen países que perciben grandes cantidades de agua en el transcurso de un año, y otros donde prevalecen las épocas de sequía donde la escasez de lluvia tiene una prolongación por varios meses. (ver **Figura 1.2)** Un posible plan de remediación es la infraestructura artificial y natural que permita manejar y almacenar el agua proveniente de lluvias. Cuando se permite la recarga durante los periodos de suministro de abundante agua de superficie, las aguas subterráneas ofrecen

oportunidades de almacenamiento que pueden servir de amortiguador para compensar las épocas de sequías (WWDR, 2006).

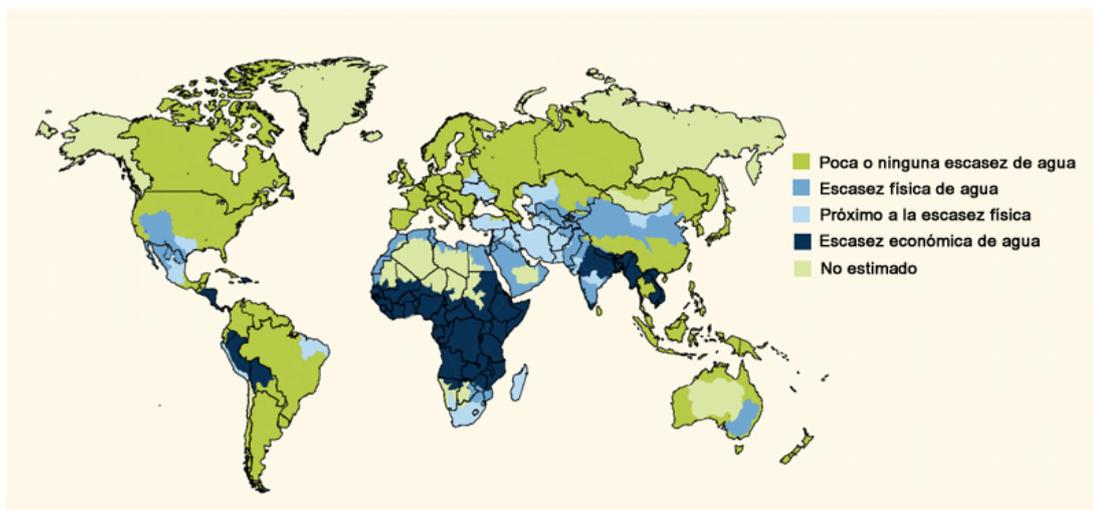


Figura 0.2. Escasez física y/o económica de agua a nivel Mundial.

Fuente: WWAP, 2012.

1.2 Problemática

Es de conocimiento que en el área de estudio existen tres acuíferos: Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar, los cuales son considerados reservas, renovables o no renovables en acuerdo a si la cantidad de agua aprovechada proviene de la fuente de recarga o no. Estos en conjuntos poseen un volumen calculado de 23'816.282 m³, de este volumen aproximadamente el 56% corresponde al acuífero costero Manglaralto en acuerdo a los datos en la **Tabla I.** (Valencia, 2017).

Tabla I. Relación capacidad-Extracción.

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	4'793.155	2'725.014	25
TOTAL	23'816.282	15'380.551	12'605.793	100

Fuente: Valencia J., 2017.

El balance hídrico del suelo de la cuenca de Manglaralto muestra un déficit anual de 661,7 mm con una precipitación promedio anual de 389,6 mm y una ETP de 1248,3 mm, siendo estas variables, indicativos de que toda el agua que se genera como producto de las precipitaciones en el sector es evapotranspirada. Como consecuencia la única fuente de recarga del acuífero se da por los aportes de las precipitaciones en la estación lluviosa, y no existe suficiente recarga durante la estación seca. (Valencia, 2017)

El consumo anual crece con una tasa de 30%. 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 con una recarga en el acuífero del 21% de las precipitaciones anuales, el volumen máximo extraíble del acuífero de Manglaralto se agotaría en 4 años **Tabla II.** Considerando que para este periodo no exista ningún tipo de recarga artificial del acuífero.

Tabla II. Tiempo de agotamiento de las reservas estimadas.

Acuífero	Tiempo de agotamiento capacidad acuífera Ideal (años)	Tiempo de agotamiento de 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.

Según información de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), el Ecuador posee una alta disponibilidad hídrica que bordea los 289.480 Hm³/año, que supera por mucho la media mundial de alrededor de 1.700 m³/habitante/año (UNESCO). Lamentablemente, debido a la distribución de la población en el Ecuador, el 88% de los habitantes viven en la vertiente Pacífico y se estima una dotación de 4.600 m³/hab/año, que contrasta con la vertiente amazónica en donde viven el 12% de los ecuatorianos con una dotación de 340.000 m³/hab/año.

La **Tabla III** muestra la disponibilidad de agua que se proyecta en el Ecuador, mediante condiciones de régimen natural.

Tabla III. Disponibilidad de agua por vertientes.

Vertiente	Recursos en régimen natural y garantía del 90% (Hm³/año)	M³/hab./año
Pacífico	60.563	4.600
Amazonas	228.917	340.000
Total, Ecuador continental	289.480	21.067

Fuente: CEPAL, 2015.

Frente a esta problemática en la escasez de lluvias y al hecho inminente de que el recurso subterráneo se está agotando debido a la explotación de agua sin una recarga adecuada del acuífero, los diques aparecen como una solución temporal y a la vez como una herramienta económicamente viable para poder encausar el agua en el invierno, con el fin de satisfacer las necesidades de la población durante la época de escasez. En la península de Santa Elena, en Ecuador, sus antepasados desde épocas precolombinas recargaban las aguas subterráneas mediante la construcción de albardas y diques (ver **Figura 1.3**) en casi toda la extensión de la península.

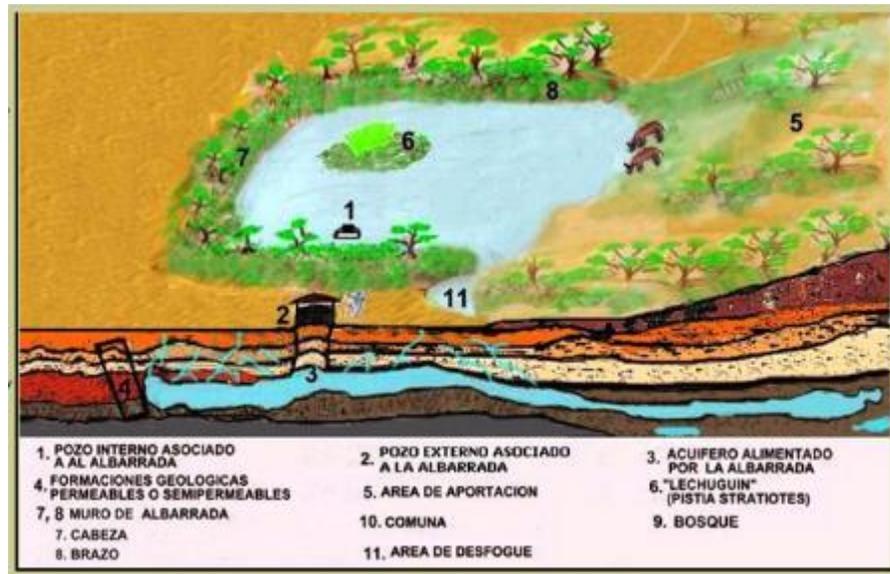


Figura 0.3. Esquema de albardadas.

Fuente: ESPOL, 2018.

Desde el 2013 se vienen construyendo tapes o diques artesanales para el encausamiento de agua a lo largo del río Manglaralto para favorecer a una mejor recarga del acuífero, como se muestra en la (ver **Figura 1.4**). Las estructuras que han ido evolucionando con el método de prueba y error, debido a que la manera en cómo fueron construidos dio lugar a que fallaran durante la época invernal (ver **Figura 1.5**).

La empresa JAAPMAN cuenta con alrededor de 13 pozos con los cuales las comunas se abastecen de agua, planteándose si: ¿es posible diseñar un dique mediante combinación de conocimientos empíricos (ancestrales) y técnicas de ingeniería para el correcto aprovechamiento de la reserva hídrica?

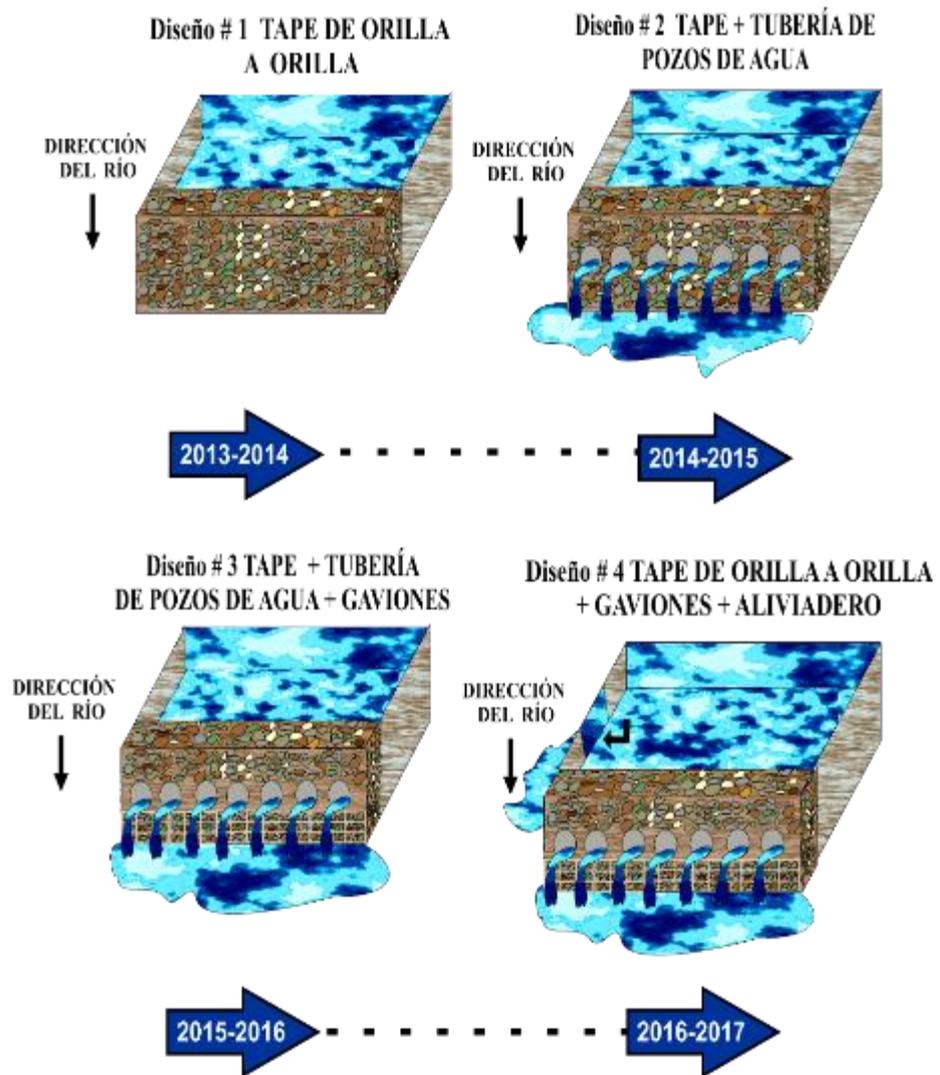


Figura 0.4. Diques artesanales realizados desde el 2013 hasta el 2017 por la JAAPMAN.

Fuente: Carrión et al., 2017



Figura 0.5. Dique artesanal fallado durante la época invernal.

Fuente: Autores.

1.3 Justificación

El proyecto se enmarca en las estrategias para gestión del acuífero costero de Manglaralto que presenta Gricelda Herrera en su tesis doctoral del 2015 titulada " Estudio para un Modelo de Gestión de un Acuífero Costero, mediante Metodologías Participativas y Análisis Geoestadístico en el marco del Desarrollo Local. Manglaralto, Ecuador ", donde propone líneas estratégicas con la finalidad de aumentar la disponibilidad de aguas y el aumento de los niveles en el acuífero a través del desarrollo y construcción de estructuras que permitan los objetivos mencionados.

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 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 un proyecto donde se mostrarán propuestas para la ubicación de diques en el Rio de Manglaralto como alternativa de solución a la recarga de manera artificial del acuífero y al 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 en base a información Geológica e Hidrológica del área de estudio un análisis para identificar y definir las propuestas más favorables para colocar diques en el rio de Manglaralto, de estas propuestas obtener un lugar prototipo para desarrollar un levantamiento topográfico con GPS diferencial con el fin de tener un modelado acorde a la morfología del cauce y así obtener el volumen que se podría almacenar superficialmente definiendo la altura del dique. A su vez toma de muestras in situ con sus respectivos ensayos en el laboratorio para caracterizar el suelo con parámetros geotécnicos

1.4 Zona de estudio

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 Guayas y al oeste con el Océano Pacífico. Su superficie es de $3.669,9 \text{ Km}^2$ y políticamente se divide en 3 cantones, Salinas, La libertad y Santa Elena. El cantón Santa Elena está integrado por 7 parroquias; Manglaralto,

Colonche, Simón Bolívar, Santa Elena, Chanduy, Atahualpa y San José de Ancón (ver **Figura 1.6**). La cuenca de Manglaralto se encuentra en la parte suroeste 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. La zona de estudio comprende la subcuenca del Río Manglaralto, que pertenece al conjunto de subcuencas que conforman la cuenca de Manglaralto. (ver **Figura 1.7**)

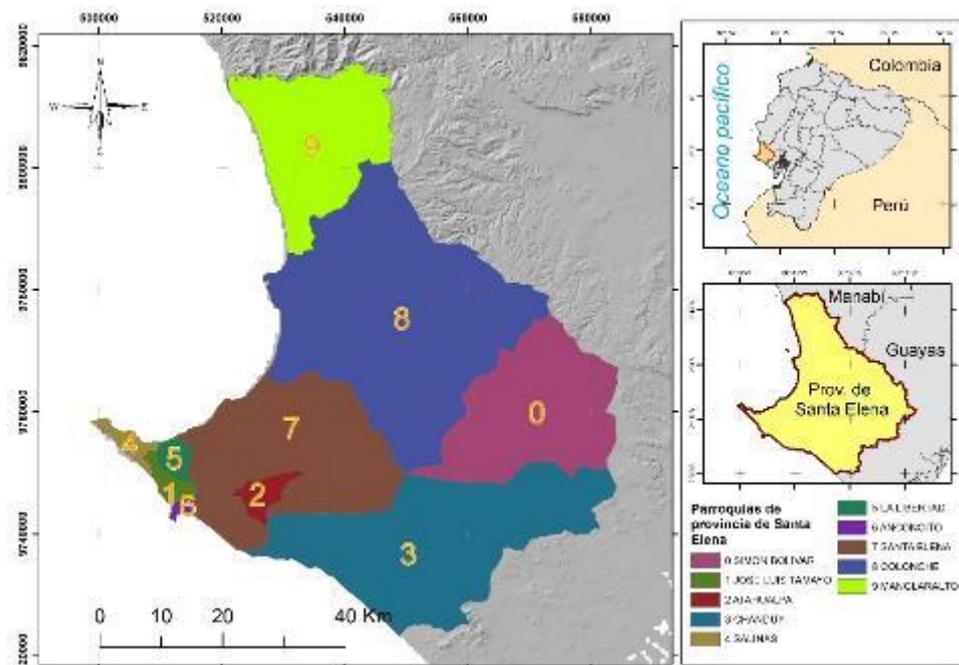


Figura 0.6. Mapa de ubicación de la parroquia Manglaralto.

Fuente: Autores.

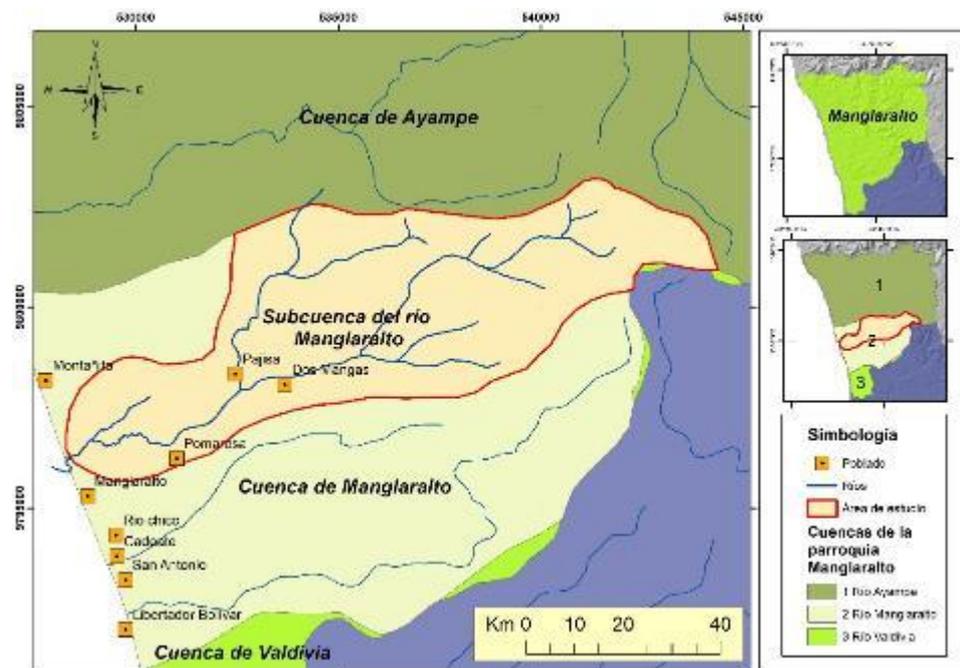


Figura 0.7. Ubicación de la subcuenca del río Manglaralto (Zona de estudio) en la cuenca de Manglaralto.

Fuente: Autores.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Proponer alternativas para la ubicación de diques en el Río Manglaralto mediante la aplicación de criterios geológicos, hidrológicos y geotécnicos para el mejor aprovechamiento del agua superficial y la recarga subterránea para la sostenibilidad del acuífero costero Manglaralto

1.5.2 Objetivo específico

- Compilar información de la Geología e hidrología del área de estudio para de esta manera desarrollar mapas inéditos y modificados que permitan conocer el entorno.
- Analizar en base a la información obtenida propuestas para la ubicación de diques en el río Manglaralto.
- Realizar un levantamiento topográfico con GPS diferencial en sitio de selección para la ubicación del eje del dique con el fin de conocer el volumen de encauzamiento superficial.
- Toma de muestras in situ para ensayo de parámetros geotécnicos en laboratorio.

CAPÍTULO 2
GEOTECNIA BASICA

2.1 Factores geológicos y problemas geotécnicos

La diversidad y complejidad del medio geológico y sus procesos hacen que en las obras de ingeniería se deban resolver situaciones donde los factores geológicos son condicionante de un proyecto. Los factores geológicos son la causa de los principales problemas geotécnicos Tabla IV, en el caso del agua, este es uno de los principales factores del comportamiento geotécnico de los materiales, los procesos geológicos pueden llegar a modificar algunas de las características de los materiales, logrando así un problema geotécnico. Cabe resaltar que para un estudio geotécnico es necesario tener claro el conocimiento geológico, para lograr una interpretación de la geología desde el punto de vista de ingeniería aplicada o geológica, para determinar y predecir el comportamiento del terreno (Vallejo et al. 2002).

Tabla IV. Problemas geotécnicos que se exponen en un terreno.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS COMO INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DEL TERRENO			
Componente geológico	Factor característico	Problemas geotécnicos	
Litología	Roca Blanda	Resistencia media a baja. Minerales alterables.	Roturas. Deformibilidad. Cambio de propiedades con el tiempo.
	Suelo Blando y orgánico	Resistencia muy baja a baja. Alta comprensibilidad.	Roturas. Subsidencia. Colapso
Estructura geológica	Fallas y fracturas	Superficies muy continuas; espesores variables.	Roturas, inestabilidades, filtraciones y alteraciones.
	Planos de estratificación	Superficies continuas; poca separación.	
	Discontinuidades	Superficies poco continuas, cerradas o poco separadas.	
Procesos geológicos	Sismicidad	Terremotos, movimiento de suelos, rotura, licuefacción, deslizamiento.	Daños a infraestructuras.
	Procesos tectónicos	Tensiones naturales. Sismicidad. Inestabilidad.	Deformaciones a largo plazo en obras civiles.
	Erosión - Sedimentación	Cambios geomorfológicos a medio plazo. Aumento y arrastre de escorrentía.	Aumento de riesgo de inundaciones y deslizamientos.

Fuente: Modificado de Vallejo, L., 2002.

2.2 Métodos y aplicaciones en ingeniería geológica

Para un desarrollo completo de estudio de ingeniería geológica para la aplicación a la ingeniería civil entre otras, es necesario abarcar un conocimiento de las técnicas de investigación del subsuelo, tanto mecánica como instrumental y geofísica. Para conocer las características de cierta zona de estudio es necesario un estudio geológico, un estudio geotécnico y geomecánico.

Un estudio geológico representa un análisis espacial de los materiales, estructuras tectónicas, datos topográficos, geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia. El estudio geotécnico y geomecánico influye en el comportamiento del terreno antes y después de la misma, este tipo de estudio permite realizar pruebas de campo, logrando caracterizar, el tipo de suelo y los macizos rocosos (Vallejo et al. 2002).

2.2.1 Mecánica de suelos

La mecánica de suelos es parte de la ingeniería civil que se encarga el estudio de los suelos, propiedades, y comportamiento. Los geólogos definen los suelos como rocas alteradas, mientras que los ingenieros prefieren definirlos como el material que sostiene una carga por su base (Capote 2014).

Para medir las propiedades del suelo se requiere de técnicas o ensayos de laboratorio. Los más relevantes al momento de

identificar las características que posee un determinado suelo, son:

2.2.2 Granulometría

El ensayo de granulometría de los suelos permite determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo por su tamaño, es muy importante para proyectos como suelen ser las vías, túneles, estabilidad de taludes o en este caso en particular, la construcción de un dique; este ensayo consiste en la separación de las partículas de suelo por su tamaño, utilizando para esto mallas normalizadas o tamices con aberturas cuadradas.

Se lleva a cabo la separación de las partículas en porciones empleando procesos de agitado (ver **Figura 2.1**), las cuales se pesan expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra total, el ensayo granulométrico permite agruparlas por rangos de tamaño. Se ha establecido la malla No. 200 (0,075mm) como medida divisoria en la clasificación de los suelos finos (arenas y limos) y gruesos (gravas).

Para concluir, a través de una curva de distribución, donde el eje x representa el diámetro de las partículas y el eje y corresponde al porcentaje de material retenido, se muestra con un alto

porcentaje a lo real, la variedad de tamaños de partículas que componen el suelo en estudio. (Botía 2015)



Figura 0.1 Granulometría. Tamices agregado grueso (Izquierda) y fino (Derecha).

Fuente: Autores.

2.2.2.1 Límite de consistencia o de Atterberg

Los límites de Atterberg tienen la finalidad de caracterizar el comportamiento de los suelos finos, cuantificar su plasticidad. Estos límites son: Límite Líquido, límite de retracción y límite Plástico.

El Límite Líquido se define como el porcentaje de humedad del suelo, a partir de la cual el suelo pasa a

comportarse como un lodo y tiende a fluir bajo su propio peso. Este límite ayuda a determinar problemas de potencial de volumen, estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el límite plástico para predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

El límite de retracción es la humedad en la que una pérdida mayor de agua no provoca disminución en el volumen del suelo. El límite plástico es el mínimo contenido de agua con que el suelo permanece en estado plástico.

Este grupo de suelo de grano fino tienen un comportamiento mecánico particular en función del contenido en agua, que permite definir la consistencia o estado del suelo, según la humedad del material (Lambe and Whitman 2012), como se muestra en la (ver **Figura 2.2**).

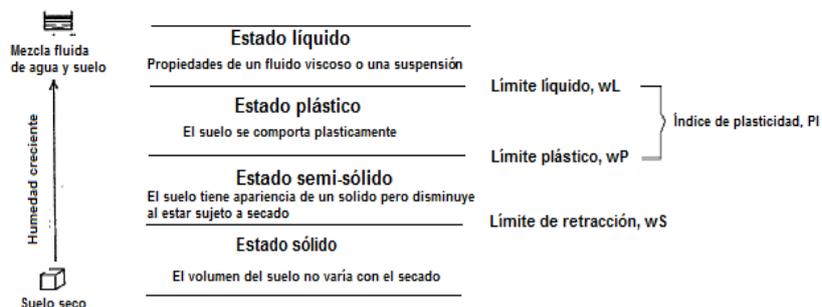


Figura 0.2. Límites de Atterberg y diferentes estados de suelos.

Fuente: Autores.

Utilizando los límites líquido y plástico se pueden establecer índices muy útiles para la caracterización de los suelos como el índice de plasticidad, el índice de consistencia y el índice de fluidez.

La carta de plasticidad (ver **Figura 2.3**) es un modo de empleo para clasificación de los suelos según sus límites de consistencia, que relaciona el límite líquido, en las abscisas y el índice de plasticidad, en las ordenadas (Mayoral et al., 2010).

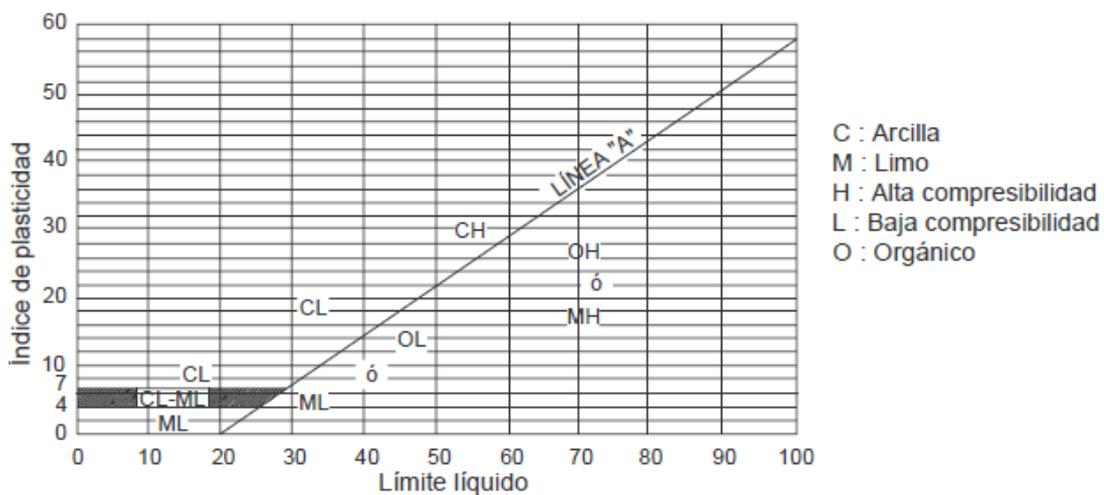


Figura 0.3. Carta de plasticidad para la clasificación de los suelos de partículas finas en el laboratorio.

Fuente: Mayoral et al., 2010.



Figura 0.4. Límites de Atterberg.

Fuente: Herrera P., 2018.

2.2.2.2 Abrasión de los Ángeles

El objetivo de esta prueba es medir el desgaste del agregado de granulometría preparada cuando se somete

a una serie de combinaciones de acciones como abrasión o trituración, impactos y desintegración.

La prueba consiste en colocar una muestra del material con características granulométricas específicas dentro del cilindro giratorio donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado (30 a 33 revoluciones), a una velocidad determinada, el agregado es removido del cilindro y tamizado para medir la degradación como porcentaje perdido. (Ver **Figura 2.5.**).

La evaluación de la resistencia a la abrasión se realiza a partir del incremento en material fino que se produce por el efecto de los impactos dentro del tambor con la carga abrasiva.

La resistencia a la abrasión es usada como un índice de calidad de los agregados, ya que proporciona información sobre la capacidad de éstos para producir concretos resistentes.



Figura 0.5. Máquina de los Ángeles para prueba de Abrasión.

Fuente: Autores., 2017

2.2.2.3 Triaxial U.U

El ensayo Triaxial U.U, también es conocido como ensayo Triaxial no consolidado no drenado, o ensayo UU (por sus siglas en inglés Unconsolidated Undrained). Este ensayo determina la capacidad de soporte de cimentaciones (superficiales o profundas), estabilidad de taludes y diseño de muros o paredes de retención al esfuerzo cortante, en otras palabras, la resistencia al cortante de los suelos. Como principales razones por las cual el ensayo es tan confiable tenemos:

- i. Proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación unitario del suelo, que no suministra la prueba de corte directo.
- ii. Permite condiciones más uniformes de esfuerzo que la prueba de corte directo con sus concentraciones de esfuerzos a lo largo del plano de falla.
- iii. Provee más flexibilidad en términos de trayectorias de carga.

Para la realización de esta prueba, una probeta cilíndrica se sujeta a una presión de confinamiento en la cámara triaxial, y posteriormente se la somete a esfuerzo cortante en compresión a una tasa constante de deformación axial. (Ver **Figura 2.6**)

La resistencia a compresión del suelo se determina en términos de esfuerzos totales, por lo que el resultado de resistencia depende de la presión de poro desarrollada durante la carga. Si el espécimen está 100% saturado, la consolidación no puede ocurrir cuando se aplica la presión de confinamiento, ni durante la etapa de corte, ya que no se permite el drenaje. Con base en lo anterior, si varios especímenes del mismo material son ensayados, y si todos ellos tienen aproximadamente el mismo contenido de agua y relación de vacíos, tendrán aproximadamente la misma resistencia al esfuerzo cortante no drenada. La envolvente de falla de Mohr-Coulomb será usualmente una línea recta horizontal sobre el rango completo del esfuerzo de confinamiento aplicado al espécimen. (Mayoral Juan 2010)

La forma de realizar este ensayo es con la válvula de drenaje cerrada para todas las fases del ensayo y antes de que la muestra tenga posibilidad de consolidarse (si $S < s = 100\%$).



Figura 0.6. de izq. a der. Se muestra Probeta cilíndrica y ensayo triaxial en la cámara de confinamiento.

Fuente: Autores.,2017

2.2.3 Prospección geofísica y métodos directos de prospección

El empleo de la prospección geofísica para la resolución de problemas geológicos, siendo frecuente su utilización como completo para proyecto de ingeniería civil. Las ventajas del uso de esta técnica, destaca principalmente su carácter no intrusivo y bajo coste, y la utilización de un abanico de técnicas con continuas mejoras en rendimientos y posibilidades de aplicación (Pando 2015).

Los diferentes métodos geofísicos, usados para la prospección del subsuelo, son: Eléctricos (resistividad), Sísmicos (ondas sísmicas), Gravimetría (densidad), Magnético (susceptibilidad magnética), electromagnéticos (conductividad eléctrica y permeabilidad magnética).

Los métodos eléctricos, son aquellos que estudian la respuesta del terreno cuando se propagan a través de él, corrientes eléctricas continuas (DC). El parámetro físico que se controla es la resistividad (ρ) y la interpretación final se hace en función de las características geológicas de la zona en que se aplican. En la Tabla VI se presentan algunos valores de resistividades del suelo y rocas.

Tabla V. Valores de resistividad de suelos y rocas

Valores de resistividad de las formaciones geológicas más frecuentes	
Materiales	Resistividad ρ (OHM*m)
Margas	50-5.000
Calizas	300-10.000
Granito	300-10.000
Arcilla	1-20
Arenas	50-500
Areniscas	50-5.000
Conglomerados	1.000-10.000

Fuente: Modificado de Vallejo L., 2002.

Dentro de los métodos eléctricos, se tienen otros tipos de métodos los denominados Resistividad, Polarización inducida y Potencial espontaneo. El método de resistividad es usado para el estudio de discontinuidades horizontales y verticales, la técnica más común en el método de resistividad son los sondeos eléctricos verticales (SEV), la cual consiste en separar sucesivamente los electrodos de corriente A y B del punto central siguiendo una línea recta, y medir la resistividad en cada disposición, se emplea generalmente la configuración Schlumberger (ver **Figura 2.7.**).

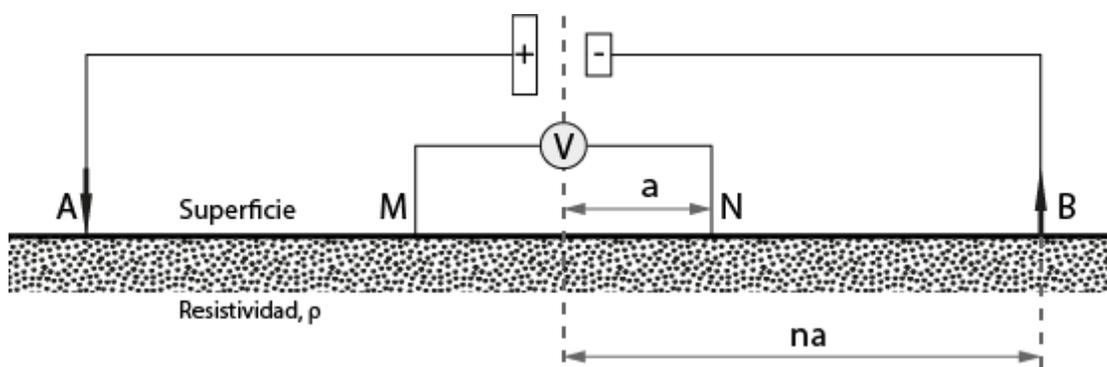


Figura 0.7. Dispositivo Schlumberger.

Fuente: Web: OCSA-Estudios geofísicos/tomografía eléctrica, 2018.

La prospección geofísica mediante la ejecución de sus técnicas de investigación del subsuelo, son considerados métodos

indirectos, ya que se llevan a cabo sin necesidad de acceder directamente al terreno.

También existen un grupo de técnicas que permite el acceso y observación directa al subsuelo, permitiendo la obtención de muestras, son los llamados métodos directos, que incluye: Calicatas, Sondeos geotécnicos, y ciertos casos galerías (Herrera and Castilla 2012).

Los Sondeos geotécnicos se caracterizan por su pequeño diámetro y por la ligereza, versatilidad y fácil desplazamiento de las máquinas. Estas pruebas pueden alcanzar una profundidad de unos 150 m, a partir de la cual los equipos son más pesados. Permiten atravesar cualquier tipo de material, así como extraer testigos y efectuar ensayos en su interior. Los procedimientos de perforación dependen de la naturaleza del terreno y del tipo de muestreo y testificación que se vaya a realizar. Los más usuales son los sondeos a rotación y los sondeos a percusión.

Las calicatas, zanjas, rozas, pozos, etc. consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos en campo. Tienen la ventaja de que permiten acceder directamente al terreno, pudiéndose observar

las variaciones litológicas, estructuras, discontinuidades, etc., así como tomar muestras de gran tamaño para la realización de ensayos y análisis.

Las calicatas son uno de los métodos más empleados en el reconocimiento superficial del terreno (ver **Figura 2.8**), y dado su bajo coste y rapidez de realización, constituyen un elemento habitual en cualquier tipo de investigación en el terreno. Sin embargo, cuentan con las siguientes limitaciones:

- La profundidad no suele exceder de 4m
- La presencia de agua limita su utilidad.
- El terreno debe poderse excavar con medios mecánicos.
- Para su ejecución es imprescindible cumplir las normas de seguridad frente a derrumbes de las paredes, así como cerciorarse de la ausencia de instalaciones, conclusiones, cables, etc.



Figura 0.8. Calicata con maquinaria.

Fuente: Autores., 2017

Tanto la prospección geofísica y los métodos de prospección directa pueden utilizarse por separado o conjuntamente, y siempre son complementarios unos de otros. La elección de uno u otro depende del objetivo que se persigue. Hay que tener en cuenta que en una campaña de investigación geotecnia se plantea, con bastante frecuencia, la utilización conjunta tanto de ensayos “in situ” como de ensayos de laboratorio, para poder determinar los parámetros del terreno (Herrera and Castilla 2012).

CAPÍTULO 3
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE
ESTUDIO

3.1 Marco Geológico

En este capítulo se presentan la información basada en la descripción geológica, estratigráfica y estructural del libro de Geología del Ecuador del Ing. Núñez 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 así como una recopilación de la sismicidad, tectónica e hidrogeología, en conjunto con el uso de las observaciones en campo del Ingeniero Amado, 1990.

3.1.1 Litoestratigrafía

Las formaciones geológicas que se encuentran dentro de la subcuenca del río Manglaralto, la forman una serie de rocas potentes volcano-sedimentarias y sedimentarias con edades que van desde el Cretácico Superior hasta el reciente como se muestra en la (ver **Figura 3.1**) y su perfil geológico de la (ver **Figura 3.2**).

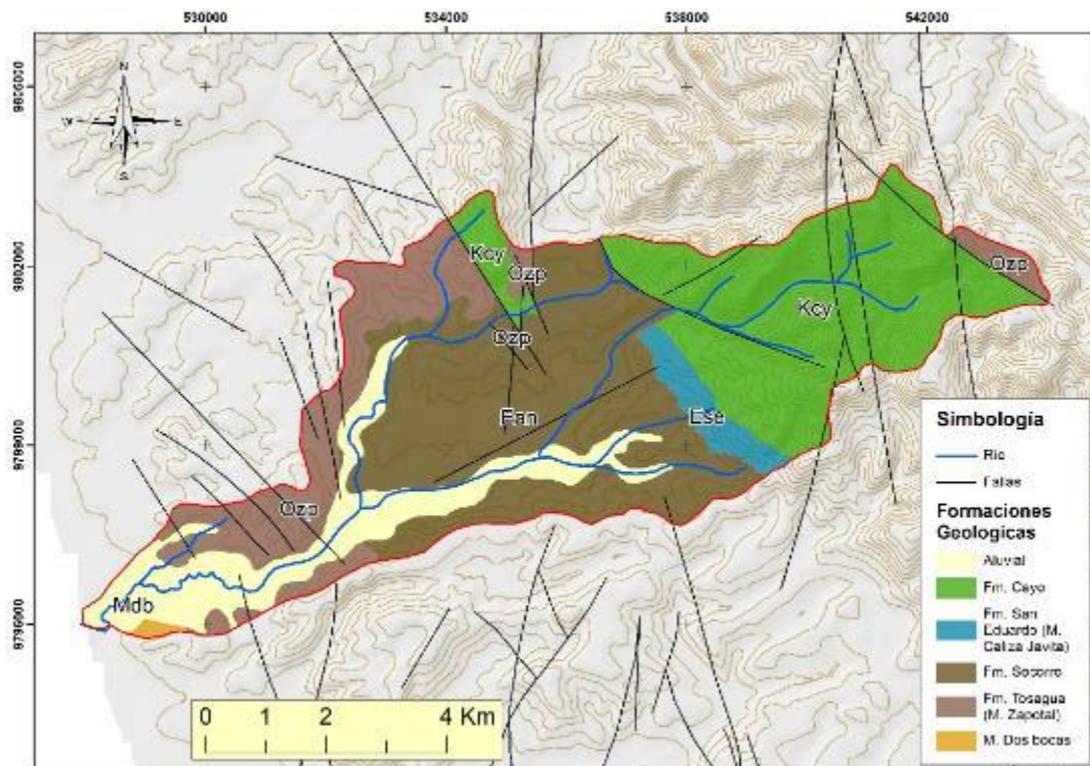


Figura 0.1. Mapa geológico de la subcuenca del río Manglaralto.

Fuente: Modificado de DGGM, 1974.

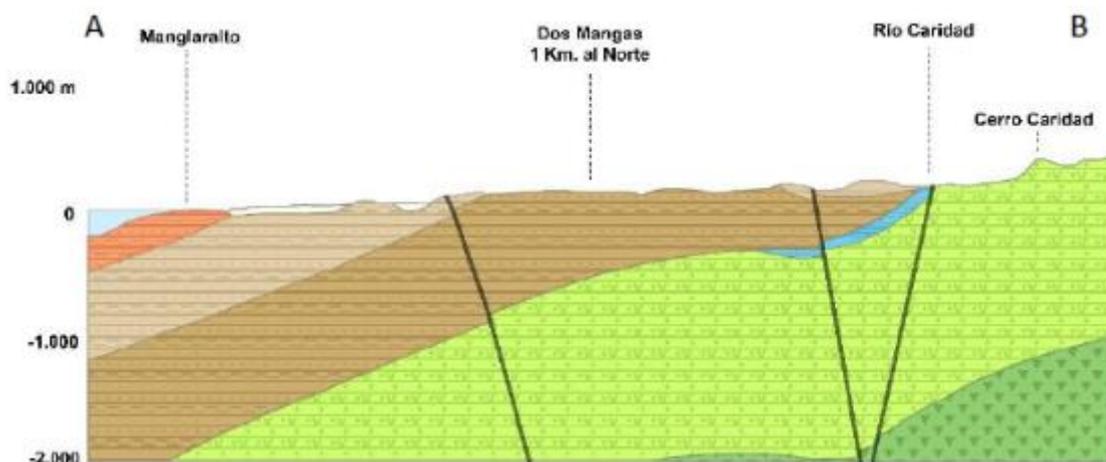


Figura 0.2. Perfil geológico de la subcuenca del río Manglaralto.

Fuente: Modificado de DGGM, 1974.

3.1.1.1 Formación Cayo (Cretácico Superior)

Sobreyace con una aparente discordancia, y frecuentemente fallado, con el complejo ígneo, piñón. Constituye una serie de estratos masivos de areniscas, conglomerados, cherts, tobas y aglomerados volcánicos. Está expuesta ampliamente en la cordillera Chongón Colonche y con poca frecuencia al norte de Jama. La base de la formación está compuesta por brecha volcánica de composición intermedia a básica, se presenta una serie de aglomerados volcánicos y conglomerados constituidos cerca del 90% de material volcánico. Y la parte inferior está compuesta por arenisca y wacke, las areniscas presentan una tonalidad de color café a verde oscuro y gris, en su mayoría son cuarzosas. Más arriba de la formación se presenta material menos volcánico y en el tope la mayoría son lutitas silicosas, con gradación desde argilitas silicosas a lutitas puras, y cherts, con un cambio de color de gris obscuro a verdoso gris bien estratificado. La cantidad de cherts aumenta hacia el tope de la sección. De manera general, la formación piñón está compuesta por materiales volcano-sedimentaria con un espesor de

aproximadamente 3000 m en el S y se adelgaza progresivamente al N. la parte superior de Cayo entra en contacto con la formación Guayaquil Chert. Contiene abundante fauna de radiolarios y foraminíferos que señalan una edad que varía del Senoniano al Maestrichtiano (Núñez del Arco 2003).

Esta formación ocurre en la parte montañosa de la cuenca, constituye principalmente por sedimentos duros y resistentes a la erosión formada por lutitas arcillosas, tobáceas, lutitas silicificadas y por areniscas conglomeráticas de color pardo a negro. En algunos lugares se observan grauvacas de color verdoso (Amado 1990).

3.1.1.2 Formación Socorro (Eoceno Medio y Superior)

La formación corresponde una de las dos unidades estratigráficas del Grupo Ancón, siendo la unidad más antigua.

Está constituida por areniscas grauvaquicas de color gris verdoso, semiduro y cementado por calcita y material argiláceo bien fracturadas. Se presentan areniscas pardas amarillentas que va de grano fino a grueso con presencia de material orgánico (Amado 1990).

Según Núñez del Arco (2003), la Fm Socorro comprende secuencias de turbiditas alternadas con delgadas capas de areniscas y lutitas de color gris verde.

3.1.1.3 Formación Tosagua (Mioceno inferior y medio)

Núñez del arco (2003), establece que la formación Tosagua empieza por una transgresión marina y luego por una sedimentación circalitoral. Se distinguen tres miembros de esta formación: miembro Zapotal y el miembro dos bocas y miembro villingota.

El miembro Zapotal yace discordante sobre el grupo Ancón y está conformado por capas decimétricas a métricas, de areniscas de grano medio, que presenta alternancia con limolitas. La base de la formación la constituye un conglomerado con guijarros subangulares de tamaño variable de cuarzo, chert, areniscas y calizas. El miembro dos bocas consiste en su mayoría de lutitas suaves limosas, de color gris, y en ocasiones de color chocolate. Presentan alternancia con capas de limolitas y areniscas finas de color amarillo rojizo. Se evidencia concreciones calcáreas fracturadas, vetillas de yeso entre las lutitas, indicando que son depósitos de mar somero (Núñez del Arco 2003).

Según Amado (1990), las lutitas de color chocolates con concreciones calcáreas fracturadas se presentan en el centro de la cuenca, cerca de la carretera en las inmediaciones de Manglaralto. En el cerro Colorado, las lutitas adquieren un color rojo ladrillo.

3.1.1.4 Formación Tablazo (Pleistoceno – Holoceno)

La formación Tablazo presenta cuatro niveles, que corresponden a diferentes facies de la formación. El nivel superior de 80 metros de altura consiste en lumaquelas y areniscas calcáreas. El segundo nivel de 40 metros de altura se caracteriza por la presencia de arenas finas, conglomerados y arcillas, con nódulos calcáreos y conchas. El tercer nivel, constituido por arenas de color café, con fragmentos de conchas. Por último, el cuarto nivel, que se encuentra bajo el nivel actual del mar. En algunas localidades esta unidad se encuentra sobreyaciendo sedimentos recientes, estos pueden ser marinos como continentales (Núñez del Arco 2003).

3.1.1.5 Depósitos Aluviales (Holoceno)

Núñez del arco define a los depósitos aluviales como depósitos de conglomerados, arenas, limos y arcillas,

dispuestas en terrazas, a lo largo de los actuales ríos y que se encuentran sobreyaciendo a la mayoría de las formaciones geológicas, excepto a los depósitos estuarinos que son los más recientes.

La presencia de Gravas y limos constituye gran parte de la Cuenca del río de Manglaralto. El diámetro de las gravas o gravillas varían tanto como en el espesor de sus capas, la matriz de estos horizontes es arenosa, lo cual los convierte en un terreno de excelentes condiciones para ser un acuífero de buena calidad. Los clastos son principales de las formaciones existentes en la parte alta de la cuenca. En el lecho del río ocurren bloques de hasta 40 cm de diámetro (Amado 1990).

3.1.2 Geomorfología

La parte montañosa formada por los cerros Los Araujos, El gallo, Culebra, San Martín, Los Lobos Colonche y las Montañas de Olon que tienen elevaciones que oscilan entre los 300 y 750 metros, a medida que nos acercamos a la costa las elevaciones y pendientes van disminuyendo (ver **Figura 3.3.**) A partir de la población de Dos Mangas se estructura el valle propiamente dicho, el mismo que tiene una pendiente suave menor a 5°.

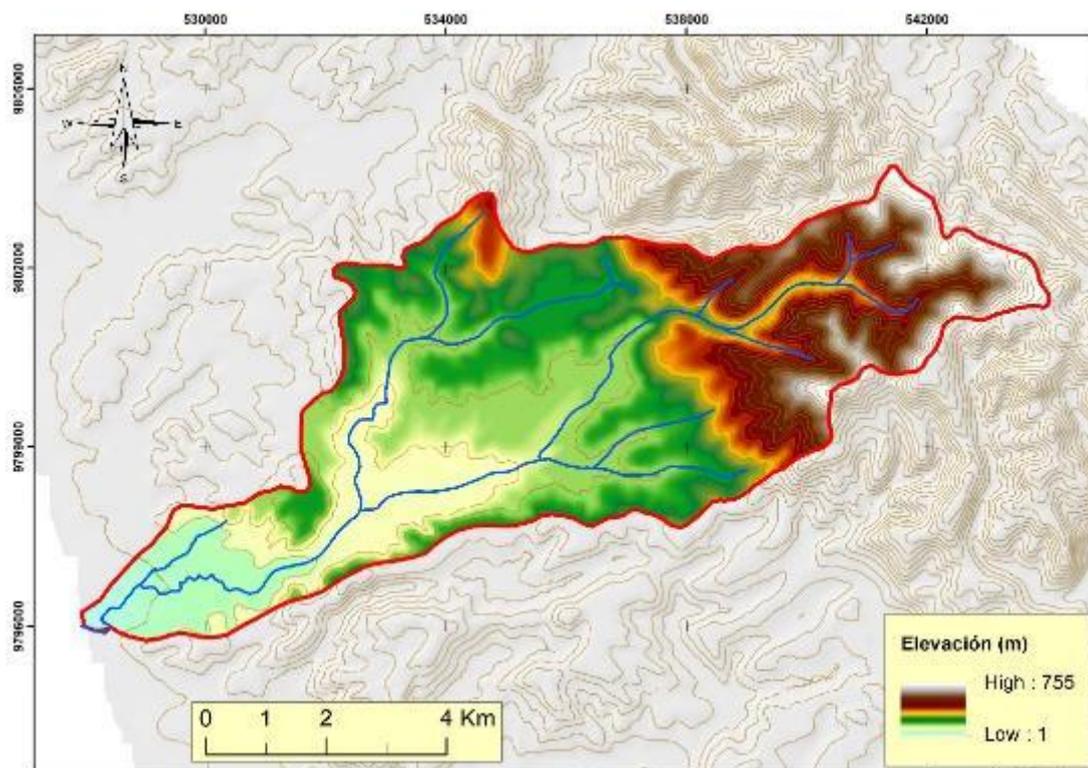


Figura 0.3. Modelo digital de elevaciones (DEM) de la subcuenca río Manglaralto.

Fuente: Autores., 2017.

Geomorfológicamente el área de estudio se encuentra en el flanco suroeste del tramo de la cordillera Chongón colonche, en la parroquia de Manglaralto, el lineamiento estructural de esta cordillera de colinas medias a altas tiene de azimuth $N310^\circ$. Al oeste, estas elevaciones disminuyen sus altitudes de montañas hasta colinas bajas cercanas al valle del sitio de estudio. En esta sección se analiza los rasgos geomorfológicos desde un punto de vista local.

En la (ver **Figura 3.3.**) se evidencia la forma del relieve, caracterizado por colinas altas al este de la subcuenca río Manglaralto derivadas de la cordillera Chongón-Colonche, ya hacia el oeste de la subcuenca también integra amplios valles con una disminución progresiva de altitud en sus colinas (ver **Figura 3.3.**) y zonas de amplias terrazas aluviales, terrazas coluviales como consecuencia de caídas de detritos desde la parte más alta de las laderas. Las terrazas no son consolidadas y pueden ser fácilmente removidas (ripiado) por maquinarias. Rasgos morfológicos dominantes en el área de estudio son las colinas que alcanzan altitudes de hasta los 750 m.s.n.m.

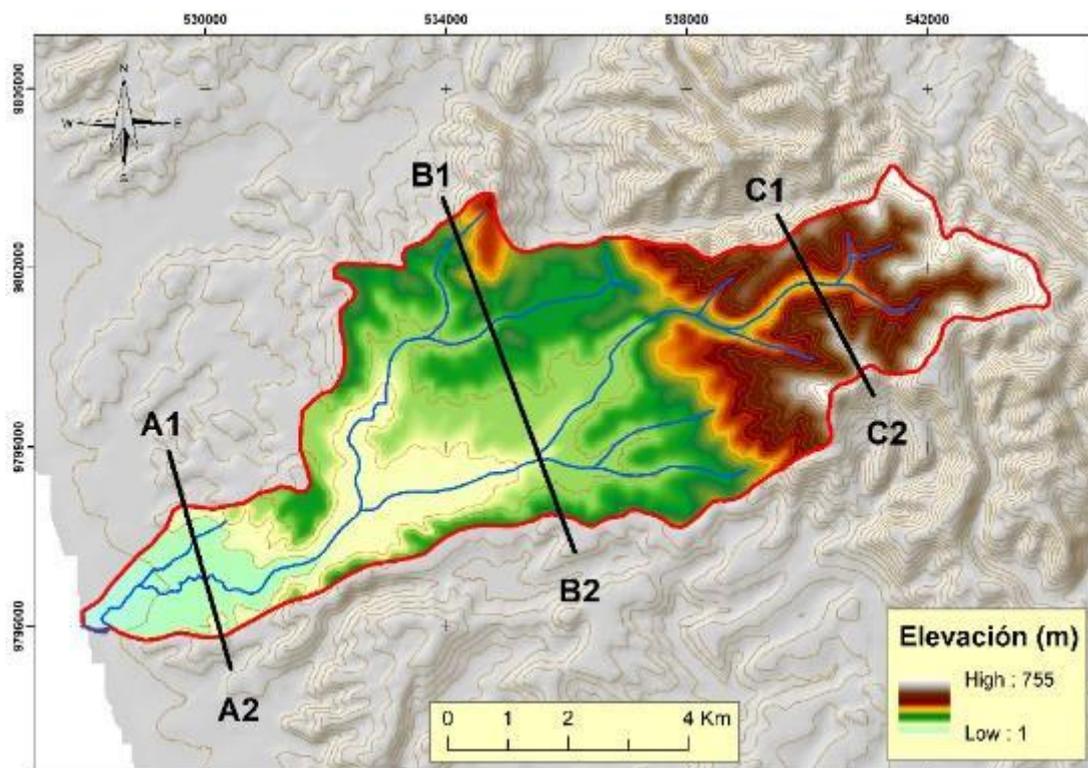


Figura 0.4. Perfiles topográficos transversales a la longitud mayor de la subcuenca del río Manglaralto.

Fuente: Autores., 2017

3.1.2.1 Relieve

Para comprender la morfometría local se ha realizado tres perfiles topográficos de rumbo noroeste sureste entre 3400 m a 6400 m de longitud (perpendicular al eje del valle), como se observa (ver **Figura 3.4.**) En el área se tienen colinas altas, colinas bajas y valles amplios entre colinas.

Desde el punto de vista del análisis geomorfológico, y un DEM de la zona de estudio e imagen satelital proporcionada por Google Earth se pueden evidenciar tres dominios morfoestructurales:

- i. montañas que alcanzan altitudes desde los 300 metros hasta los 750 m.s.n.m., (ver **Figura 3.5.**), se evidencian profundos surcos de tipo V incisos por la dinámica de las aguas que fluyen entre colinas. Estas altitudes según (Garzaro, J. A., & Calle Garcia, J., 1990) se deben a una litología resistente a la erosión (Lutitas silicificadas). Esto, en concordancia con la geología del área. Fenómenos de deslizamientos y paleo deslizamientos no son notables en modelos digitales del terreno.
- ii. Valles amplios en la parte central de la subcuenca con inclinación suave (ver **Figura 3.5.**), son desarrolladas entre colinas desde los 100 a 300 m.s.n.m. estos valles se deben a su vez según (Garzaro, J. A., & Calle Garcia, J., 1990) a terrenos con una menor resistencia a la erosión (arenisca) a litologías fácilmente erosionables (lutitas arcillosas).

- iii. Terrazas aluviales, este rasgo morfológico se presenta como extensa plataforma con dimensiones horizontales entre los 500 m a 1000 m (ver **Figura 3.5.**).

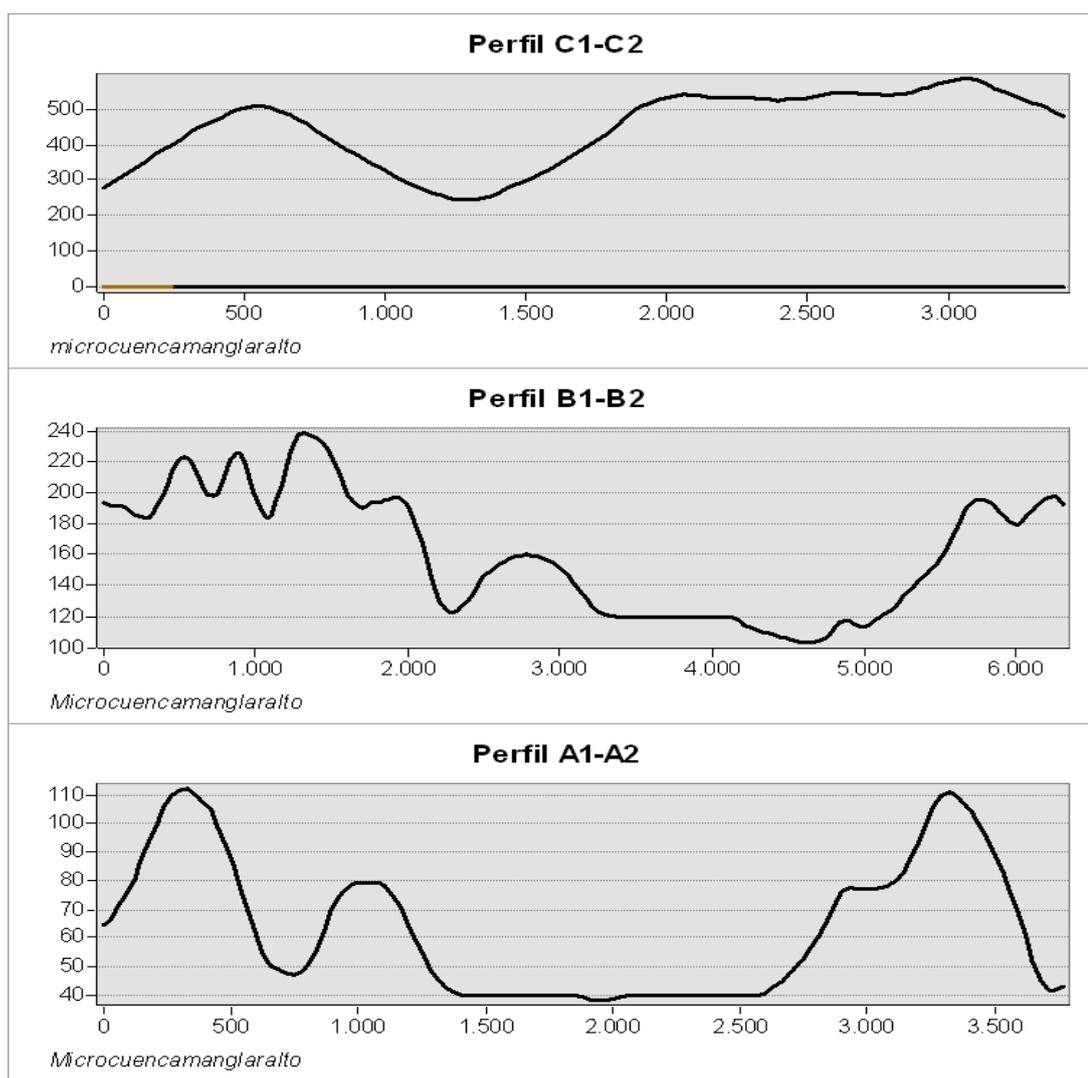


Figura 0.5. Perfiles topográficos obtenidos del DEM de la subcuenca del río Manglaralto.

Fuente: Autores., 2017

3.1.2.2 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. (ver **Figura 3.6.**)

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 VI, donde las clasifican en 5 categorías.

Tabla VI. Clasificación de pendientes

Parámetro	Descripción	Clasificación
Pendientes	< 5%	Débil, plano o casi plano
	5 – 15%	Moderada
	15 – 25%	fuerte
	25 – 35%	Muy fuerte
	> 35%	Vertical o subvertical

Fuente: MAGAP, 2002.

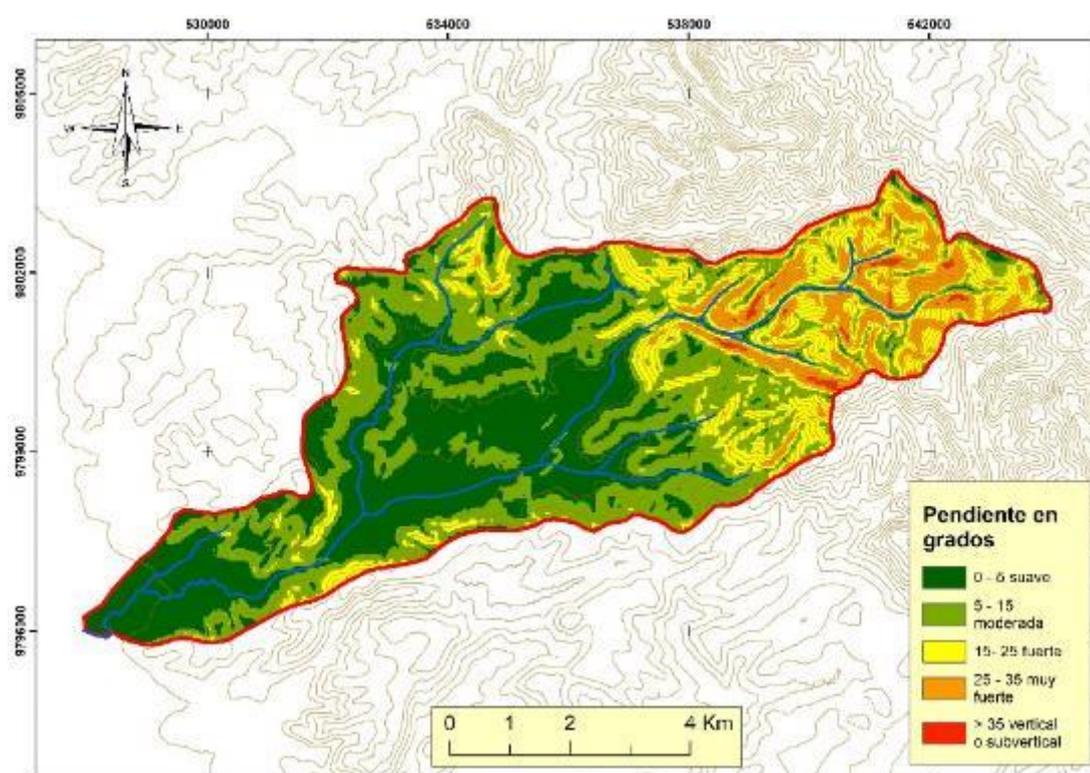


Figura 0.6. Mapa de pendientes de la subcuenca río Manglaralto.

Fuente: Autores., 2017

3.1.3 Hidrogeología

3.1.3.1 Características hidrogeológicas

El río Manglaralto posee 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 semiconfinado en los depósitos aluviales del río Manglaralto que abastecen de a las 7 poblaciones de la parroquia. Según el análisis de los niveles de pozos desarrollado por (Arévalo 2016), en el segundo trimestre del año 2016, en los 12 pozos perforados por la (ver **Figura 3.7.**), 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.

Los depósitos aluviales del río Manglaralto se encuentran en un relieve llano y es bordeado por elevaciones que superan los 100 metros.

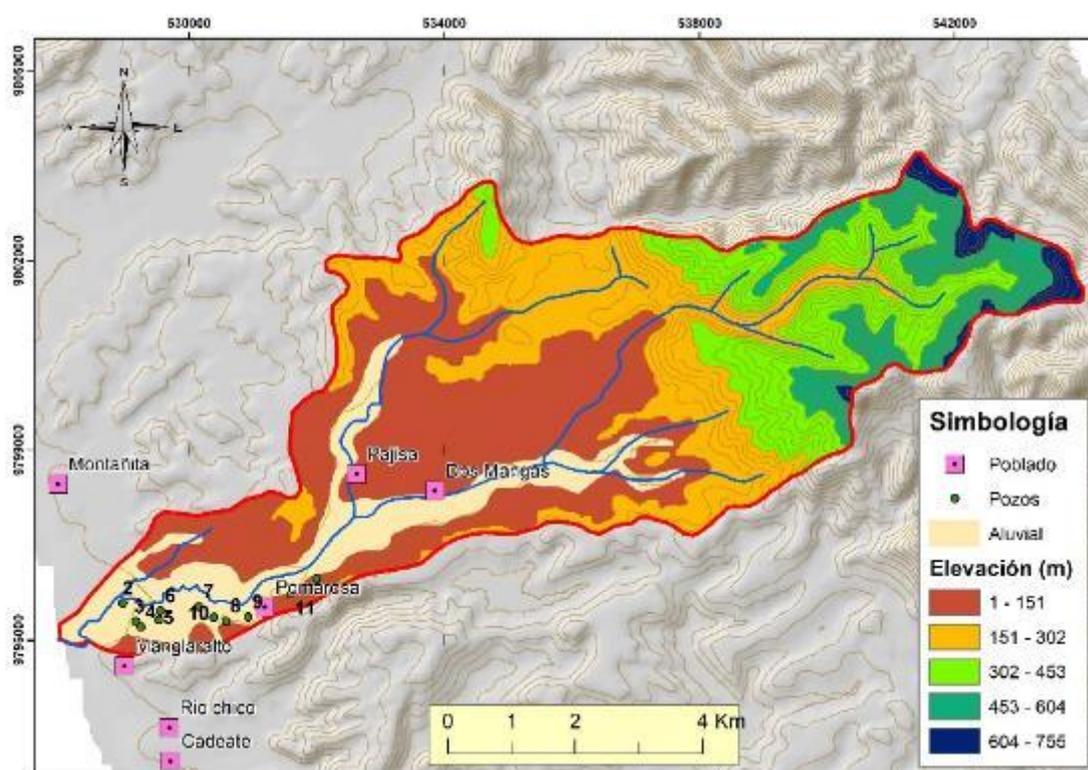


Figura 0.7. Depósitos aluviales del río Manglaralto y Ubicación de los pozos de la JAAPMAN.

Fuente: Autores.,2017.

3.1.3.2 Unidades Hidrogeológicas

El área de estudio está constituida fundamentalmente por 3 unidades hidrogeológicas: La unidad semi-confinante, la unidad acuífera y la confinante. Las unidades hidrogeológicas se encuentran a continuación en función a su secuencia estratigráfica en la tabla VII.

Tabla VII. Unidades hidrogeológicas definidas en el acuífero de Manglaralto

Unidades hidrogeológicas	Términos lito estratigráficos	características
Unidad semiconfinante	Limos arenosos, arcillas, arenas y gravas	<ul style="list-style-type: none"> • Acuitardo • Distintos valores de permeabilidad • Libre o seminconfinante
Unidad acuífera	Grava, gravilla	<ul style="list-style-type: none"> • Acuífero superior • permeable
Unidad de base confinante	Arcilla, Limosa	<ul style="list-style-type: none"> • acuicluido • considerado permeable

Fuente: Merino E., 2014.

3.1.3.3 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), Además (Merino, 2014) con 6 sondeos eléctricos verticales adicionales realizó un modelo de la geometría del acuífero de la cuenca de Manglaralto en donde para efectos de este proyecto se tomara solo la parte del acuífero costero Manglaralto que este demarcando dentro de los límites de la subcuenca del río Manglaralto.

(Merino, 2014) a su vez también definió los espesores de la unidad semiconfinante (ver **Figura 3.8**), y de la unidad acuífera del río Manglaralto (ver **Figura 3.9**).

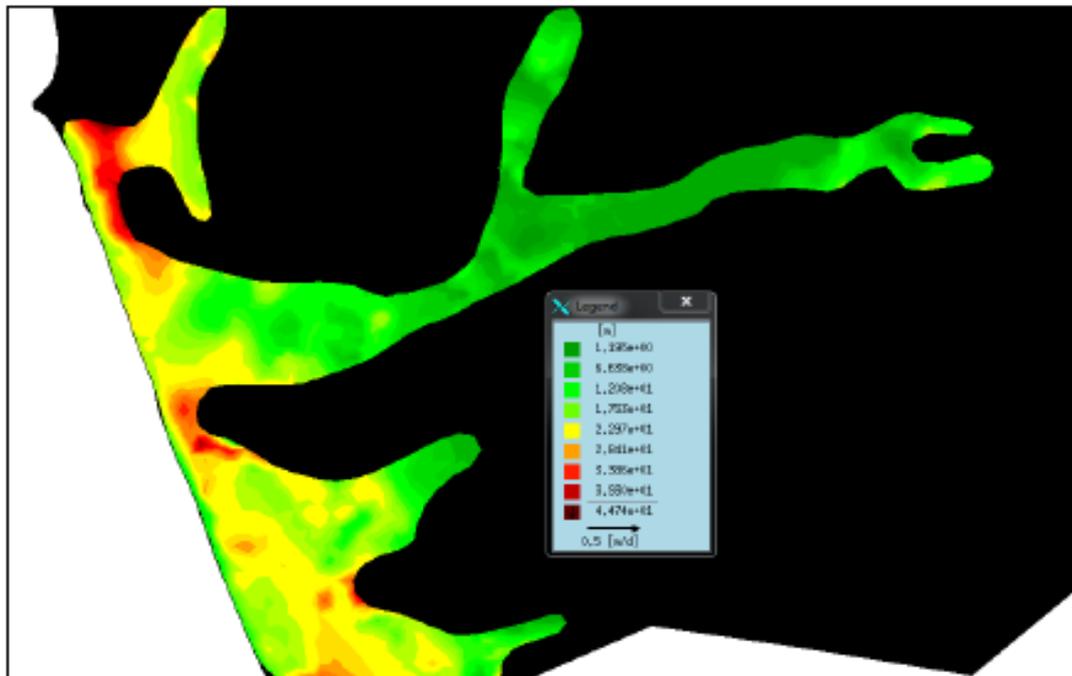


Figura 0.8. Mapa espesor unidad semiconfinante del aluvial de Manglaralto.

Fuente: Merino., 2014.

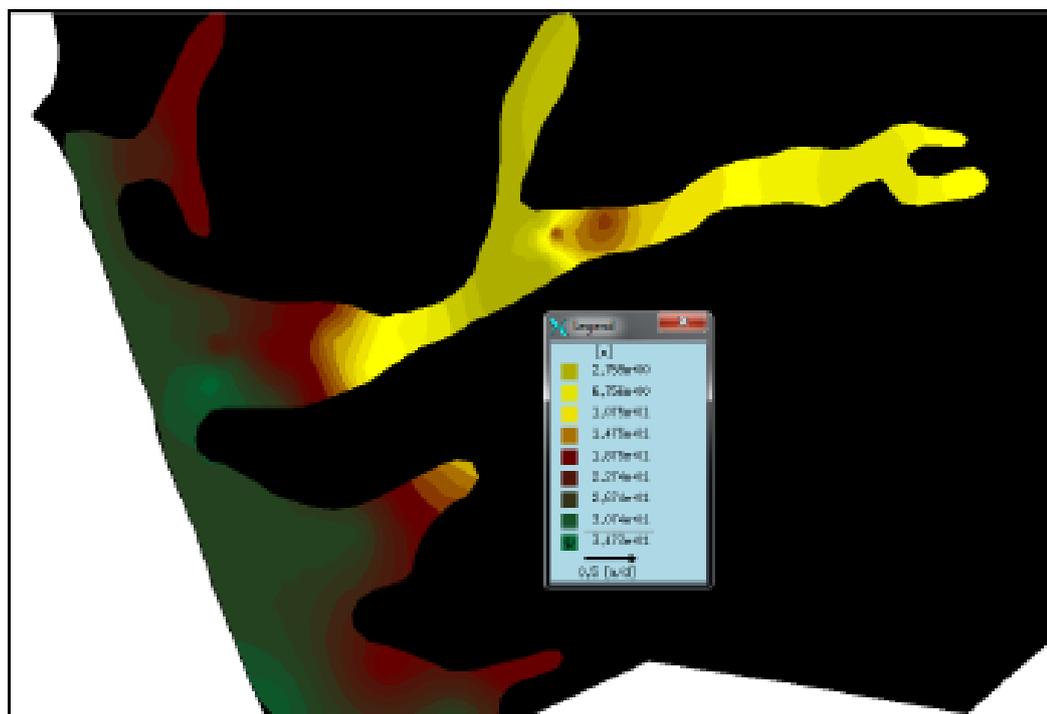


Figura 0.9. Mapa espesor de la unidad acuífera del acuífero Manglaralto.

Fuente: Merino, 2014.

Para analizar los espesores de las diferentes unidades hidrogeológicas en el Acuífero del río Manglaralto, se procedió a fraccionarlo en tres zonas. (ver **Figura 3.10**)

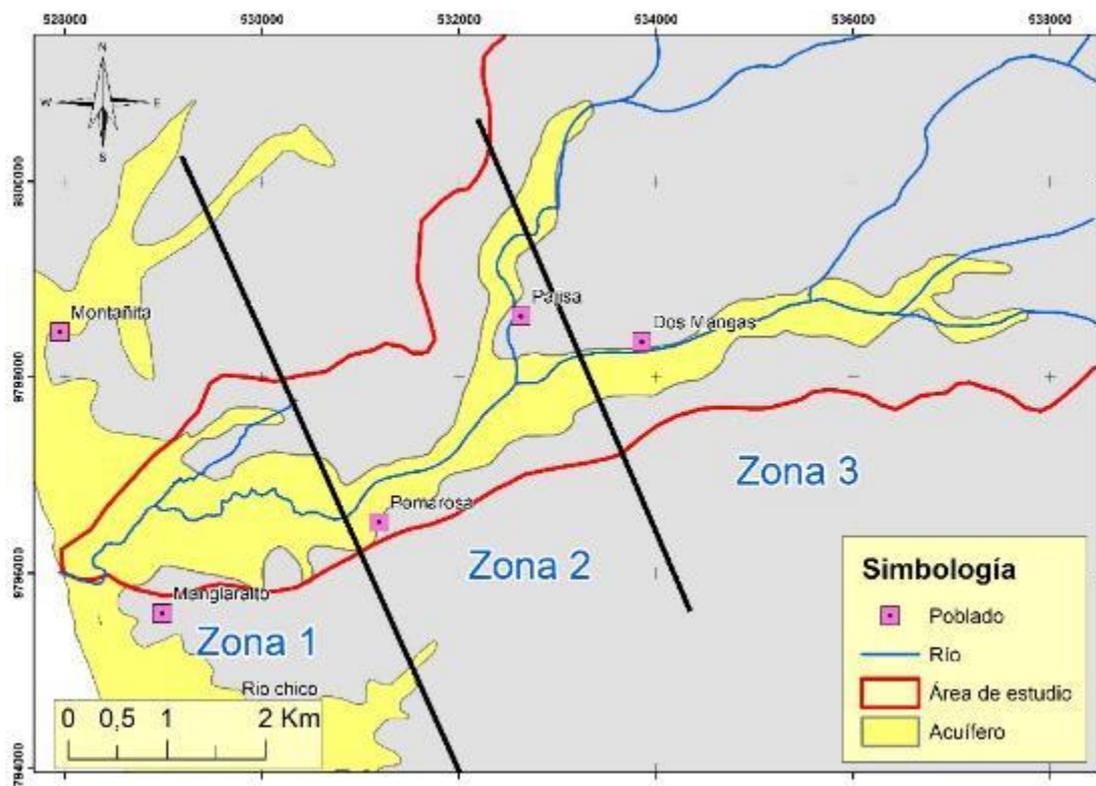


Figura 0.10. Mapa de la geometría del acuífero costero de Manglaralto.

Fuente: Modificado de (Merino, 2014).

Zona 1: Comprende la zona suroeste del acuífero, desde la franja costera del Océano Pacífico hasta la zona de Pomarosa, donde se encuentra la mayor cantidad de pozos explotados y administrados por la Junta de agua Manglaralto. En esta zona podemos encontrar un espesor de 6 y 22 m para la unidad semiconfinante y de 14 a 30 m para la unidad acuífera.

Zona 2: Comprende desde la zona de Pomarosa hasta la altura de Pajiza, en donde podemos encontrar un espesor de 6 a 12 m para la unidad semiconfinante.

Mientras que con respecto a la capa acuífera encontramos un espesor que disminuye hacia el noroeste de 18 a 3 m hasta llegar a la altura de Pajiza, en donde se convierte en una zona con menor probabilidad de explotación de pozos.

Zona 3: Comprende la zona noreste del acuífero que es la zona más alta del aluvial (entre 77 y 100 msnm), aquí podemos encontrar un espesor de alrededor de 2 m para la unidad semiconfinante.

El espesor de la capa acuífera de esta zona aumenta de 3 a 18 m hasta la altura de Dos Mangas y luego disminuye nuevamente a 3 m a medida que se aleja del poblado.

3.1.4 Tectónica

El régimen tectónico de la región costera aparece altamente controlado por la subducción de Carnegie y por la convergencia oblicua de la placa de nazca. Así, fallas normales e inversas rodean pequeños bloques en frente de Carnegie y un sistema principal de fallas transpresionales limita las cordilleras costeras.

En la subcuenca río Manglaralto se encuentran numerosas fallas definidas por la DGGM, (1974) (ver **Figura 3. 11.**), 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.

(Egüez 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 sureste 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 $N44^{\circ}W$ 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 $N39^{\circ}W$ 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.

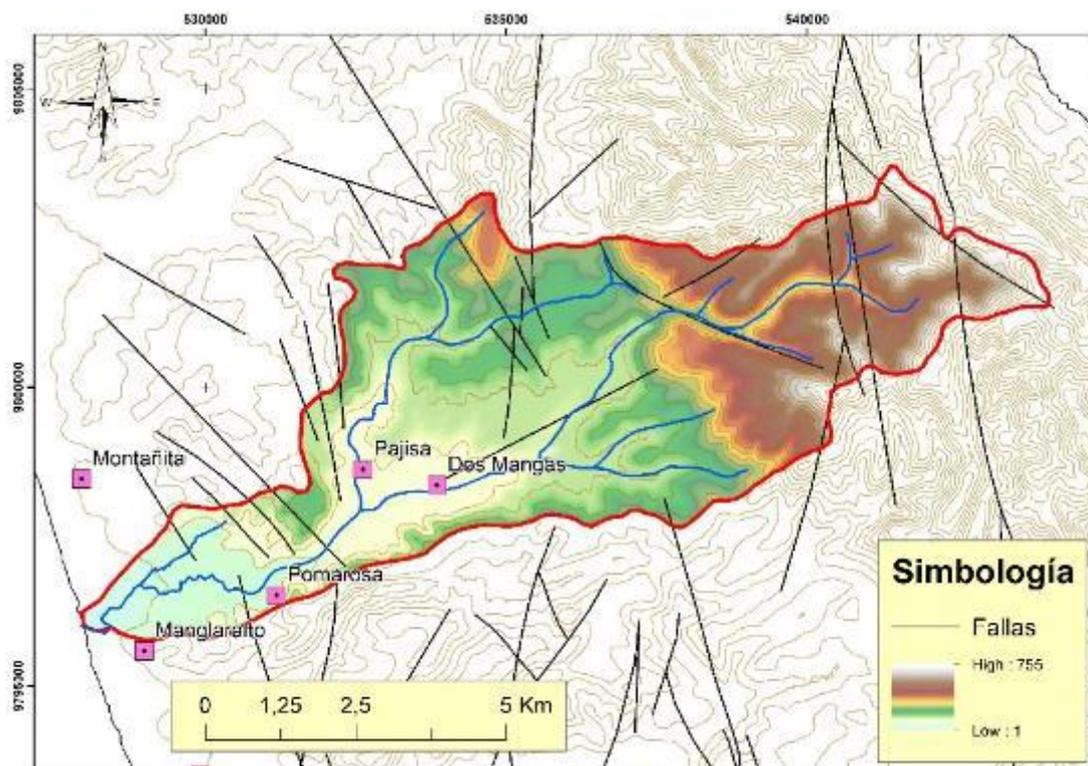


Figura 0.11. Mapa de fallas locales de la subcuenca río Manglaralto.

Fuente: Autores., 2017.

3.1.5 Sismicidad

La sismicidad a nivel del Ecuador es consecuencia de la convergencia entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana (con tasa de desplazamiento de 6 a 7 cm/año), la placa oceánica de nazca, colisiona y subduce debajo del segmento continental ecuatoriano conformando por el Bloque Norandino y la placa Sudamericana, formando la principal estructura sismogénica (zona tectónica de subducción) (ver **Figura 3.12.**), y que es

capaz de generar sismos en un intervalo de magnitudes de 7 a 9 grados. La zona de estudio se encuentra en el segmento continental del Bloque Norandino. El Ecuador se ve afectado en gran parte por la subducción entre las placas mencionadas anteriormente, y por sismos superficiales relacionados con la deformación andina actual (Dumont et al. 2005).

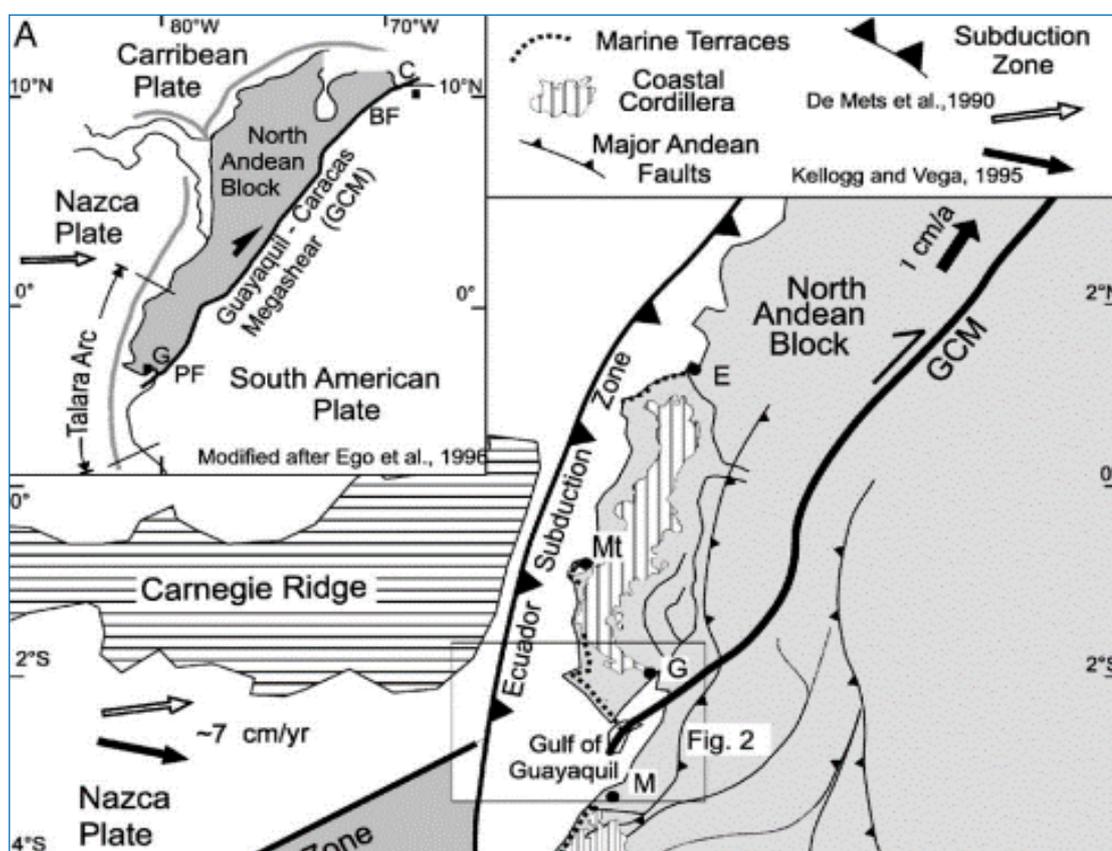


Figura 0.12. Esquema estructural de la subducción entre el bloque Norandino y la placa de Nazca.

Fuente: Dumont et al, 2015.

Todo el territorio ecuatoriano está catalogado como una zona de amenaza sísmica alta, con excepción del nororiente que presenta una amenaza intermedia, y del litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta. Desde 1901 a 2016 han ocurrido nueve terremotos de subducción en el orden de magnitud $7.2 < M < 8.8$.

Los terremotos pueden ser medidos por su magnitud, intensidad macrosísmica y aceleración (PGA, Peak Ground Acceleration). El mapa de zonación sísmica del Ecuador (NEC 2011), (ver **Figura 3.13**) , clasifica a la costa del Ecuador como una zona de altos niveles de sismicidad, con valores aceleración éntrelos 0.45 y 0.55 g (gravedad). Desde un punto de vista del análisis del riesgo sísmico, la zona de estudio se encuentra en una franja de alto nivel sísmico por su cercanía a la zona de subducción. Para este proyecto se hace referencia a los sismos ocurridos cercanos a la zona de estudio (ver **Figura 3.14**)

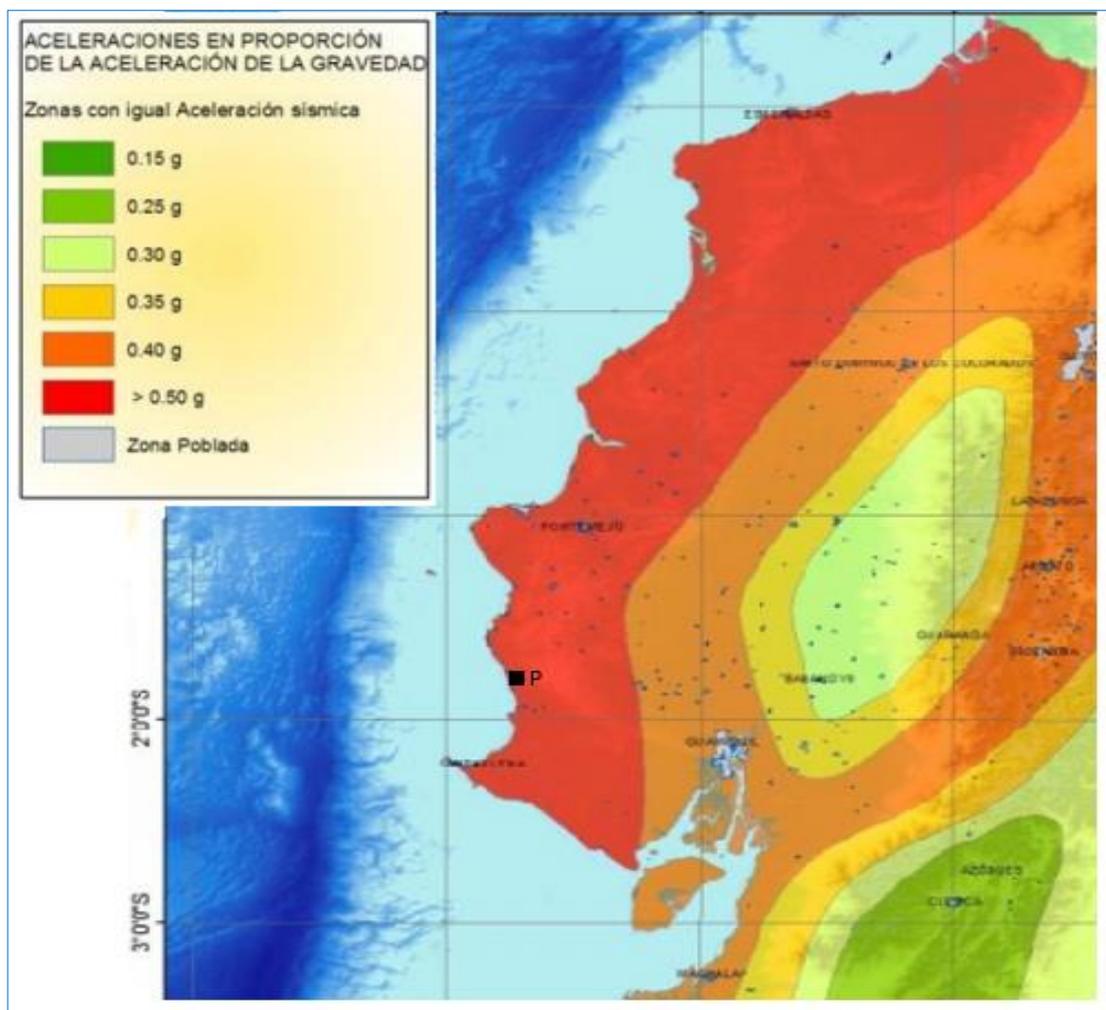
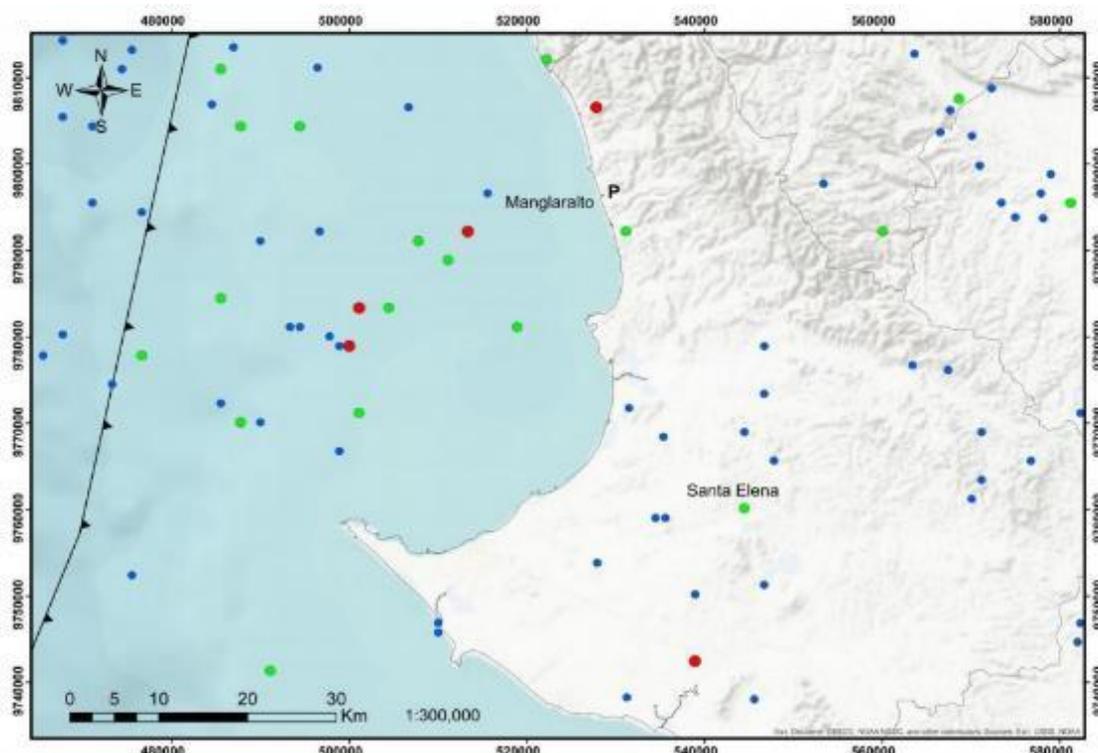


Figura 0.13. Mapa de zonificación sísmica para el margen costero ecuatoriano.

Fuente: NEC., 2011.

Una recopilación de información de sismos cercanos a la zona de estudio (ver **Figura 3.14.**) han sido obtenidos de los siguientes catálogos:

- a) “National Earthquake Information Center” – NEIC, registra terremotos instrumentales que han afectado a Ecuador desde 1973 (disponible en escala de Magnitud del momento, Mw).
- b) La Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica (RENSIG), trata de recopilar información sismológica con resolución más precisa desde 1988. La información sismológica disponible de la RENSIG comprende actualmente sismos con $M_s \geq 4$.
- c) Centro Regional de Sismología para América del Sur – CERECIS.



Sismicidad Rango de Magnitudes

- 5.6 - 7
- 4.6 - 5.5
- 3.5 - 4.5

Figura 0.14. Distribución espacial de sismos históricos para la provincia de Santa Elena.

Fuente: Autores., 2017

Para la comprensión de la tectónica activa en la subcuenca del río Manglaralto, se ha seleccionado un radio de 50 km. La distribución espacial en el terreno y en acuerdo a los catálogos consultados se establece que 12 sismos moderados a fuertes han sido generados cercano al área de estudio, con magnitudes comprendidas en el de $5.1 < M < 6.9$ y profundidades locales desde

$0.1 < H < 30$ km, H representa la distancia focal del sismo (ver Figura 3.15.) Según (Chunga, 2015), los sismos menores a magnitud de 4.9 no son considerados para este tipo de análisis, debido a que los sismos mayores a 5 si puede generar fenómenos geológicos considerables como asentamientos del terreno, fallamientos superficiales, deslizamientos o caídas de rocas, incremento de subsidencia antropogénica, entre otros rasgos que depende de la geología del sector. En la Tabla VIII se resume la información de la localización, magnitud y la profundidad de los sismos obtenidos para la región entre los años 1901 hasta el 2017.

Esta información sismológica disponible indica que la posición geográfica que donde se ubica la subcuenca del río Manglaralto tiene un corto registro de sismos.

Tabla VIII Registro sísmico para la región, con sismos de magnitudes ≥ 5 .

Fecha	Latitud	Longitud	Magnitud	Prof. Km	Catalogo
02/10/1933	-2	-81	6.9	10	NEIC
03/10/1933	-1.75	-80.75	6.3	30	NEIC
26/08/1957	-1.925	-80.99	6.3	15	NEIC
26/05/1977	-1.71	-81.13	5.1	10	CERECIS
06/05/1981	-1.88	-80.88	6.4	30	NEIC
11/08/1994	-1.98	-80.83	5.1	14	NEIC
20/09/2000	-1.88	-80.72	5.4	16.4	IG EPN
24/01/2005	-1.36	-80.79	6.1	16	NEIC
24/01/2005	-1.427	-80.874	5.1	15	NEIC
24/01/2005	-1.398	-80.91	5.8	10	NEIC
17/01/2005	-1.77	-81.05	5.5	10	NEIC
12/20/2005	-1.91	-80.9	5.3	20	NEIC

Fuente: Autores.,2017.

Información de fallas activas cercanas a la zona de estudio fueron obtenidas desde literatura, (Chunga, 2010); (Ego et al. 1990 y 1997); (Egüez et al., 2003) la recopilación se muestra en la Tabla XI. De acuerdo con los principios geológicos estructurales establecidos por Wells & Coppersmith (1994) y Leonard (2010), el tamaño y la forma de la ruptura en el plano de falla son dependientes de la magnitud del terremoto, con eventos más grandes rompiendo porciones más largas y más anchas del

plano de falla. En nuestro análisis, todas las fallas identificadas para la zona de estudio se consideran “activas” (ver **Figura 3.16.**)

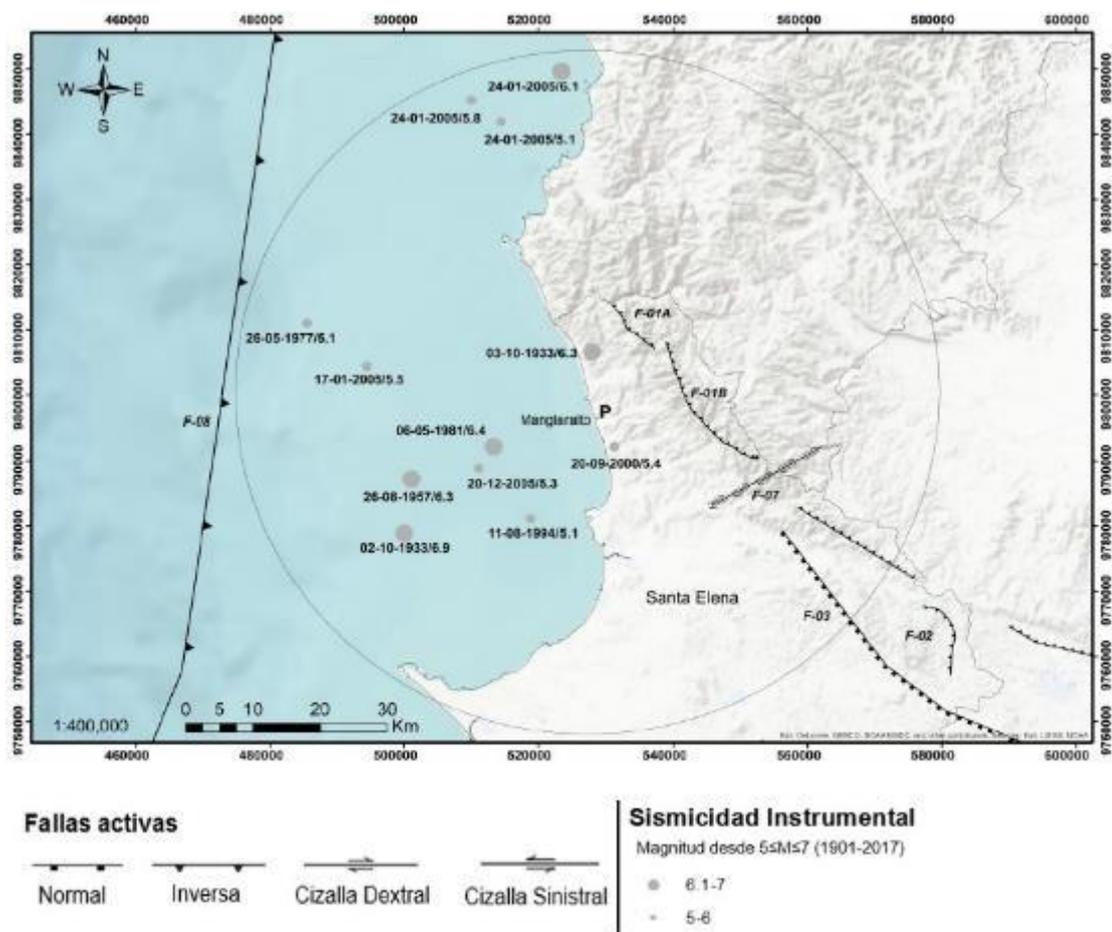


Figura 0.15. Sismos históricos con magnitudes ≥ 5 .

Fuente: Autores.,2017.

El acercamiento más usual para estimar la máxima magnitud es a través de una comparación de la longitud de la ruptura de la falla y su magnitud asociada; se estima las magnitudes máximas

para cada una de las fallas. De acuerdo con la metodología empleada por (Chunga, 2010), se ha determinado que las máximas magnitudes asociadas al comportamiento dinámico y geométrico de las fallas geológicas activas y capaces de generar terremotos, varían en el orden de magnitudes que van desde 6.0 hasta 7.1.

La Falla más cercana es la de Chongón Colonche Sección A (F-01A), a 12 Km (ver **Figura 3.16.**) La falla de menor dimensión es la F. Colinas (F-02) ubicada a 64 Km de distancia con estimaciones de máximas magnitudes de 6.0 grados y valor de PGA de 0.17 g. La principal estructura sismogénica (zona de subducción) se encuentra al oeste a 85 Km de distancia del área de estudio, la cual podría generar terremotos en el orden de magnitud 8 y valores de PGA de 0.45 g.

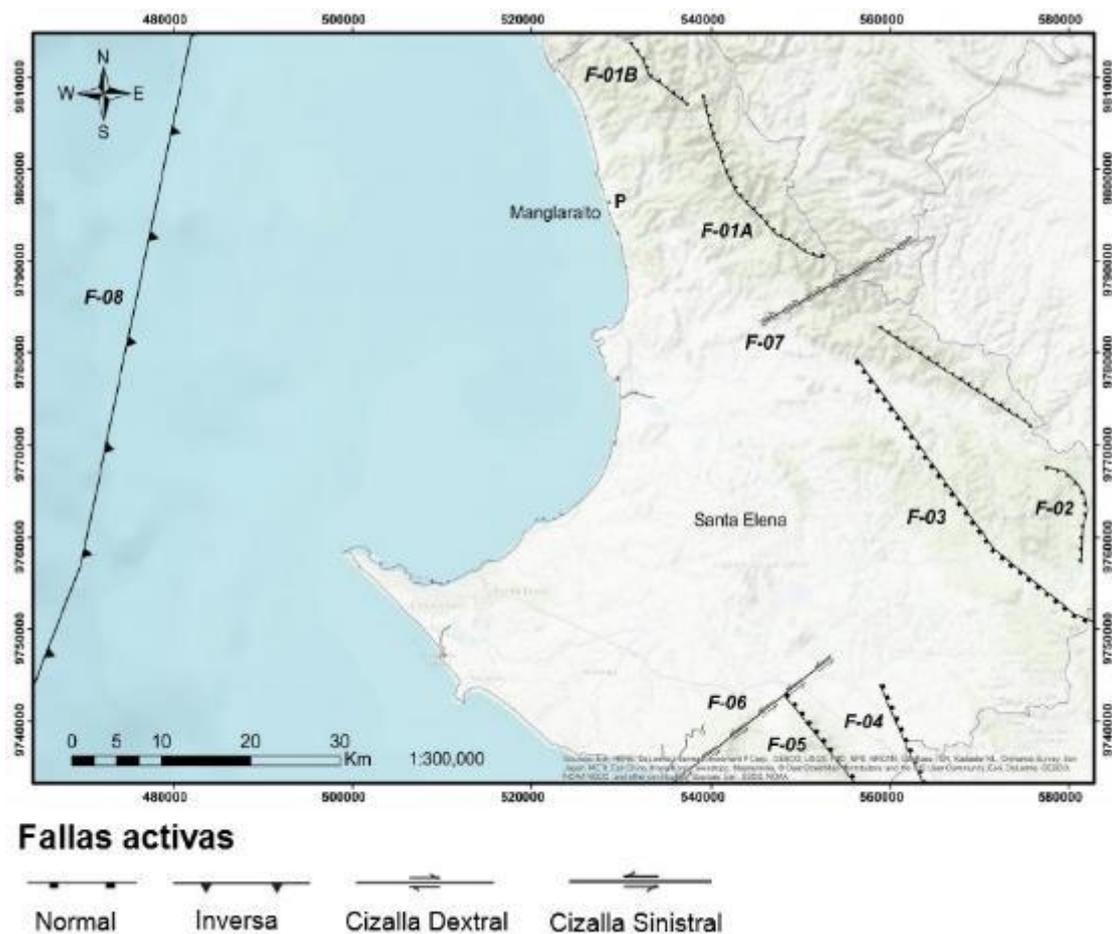


Figura 0.16. Catálogos de fallas activas, próximas a la zona de estudio.

Fuente: Autores.,2017

(Chunga et al., 2013) propone un modelo de isosistas elípticas de intensidades macrosísmicas, estimado desde el análisis de fallas geológicas y sismos (ver **Figura 3.17**) El modelo de isosistas elípticas comprende valores correlacionables a los grados de intensidad macrosísmicas MSK-1956 (escala Medvedev-Sponheuer-Karnik) y ESI-2007 (Environment Seismic Intensity) desde VII hasta X. A partir de este modelo de

intensidad macrosísmica se observa que la zona de estudio se posiciona en lugar con un campo de intensidad de grado IX.

Tabla IX. Catálogo de fallas activas y capaces de generar terremotos con magnitudes entre 6 y 7.

Id.	Nombre de la Falla	tipo	Longitud de falla (Km)	Prof. falla (Km)	Azimut (°)	Dirección de inclinación (°)	Bibliografía, referencia citada
F-01	F. Colonche	Inversa	23.42	15	285	15	Chunga 2010
F-02	F. Colinas	Inversa	12.28	20	5	275	Chunga 2010
F-03	F. Carrizal	Normal	36.28	12	105	195	Litton 1986
F-04	F. Progreso	Normal	49.88	18	330	60	Litton 1986
F-05	F. La Cruz	Normal	69.93	16	320	50	Litton 1986
F-06	F. Zapotal	Cizalla sinistral	28.03	20	45	315	Litton 1986
F-07	F. Villao S1	Cizalla dextral	27.42	12	45	85	Chunga 2010
F-08	Zona de Subducción	Inversa	260	15	15	285	Chunga 2010

Fuente: Autores.,2017

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).

3.2.1 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 (ver **Figura 3.18.**) 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 (ver **Figura 3.20**) 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, (ver **Figura 3.19.**), 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.

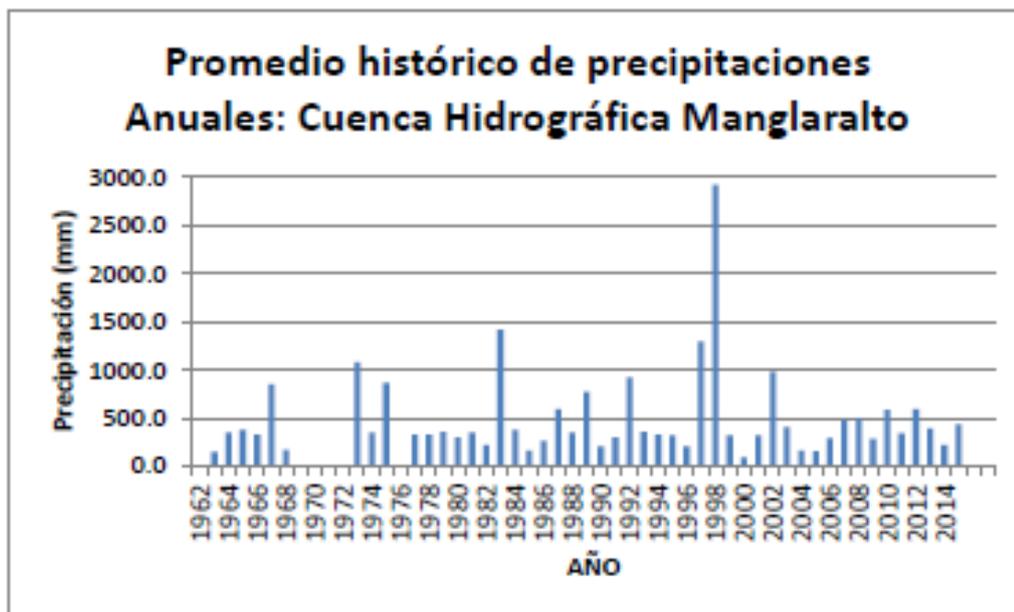


Figura 0.18. Precipitación promedio anual, periodo 1962-2015.
Fuente: INAMHI, 2015.

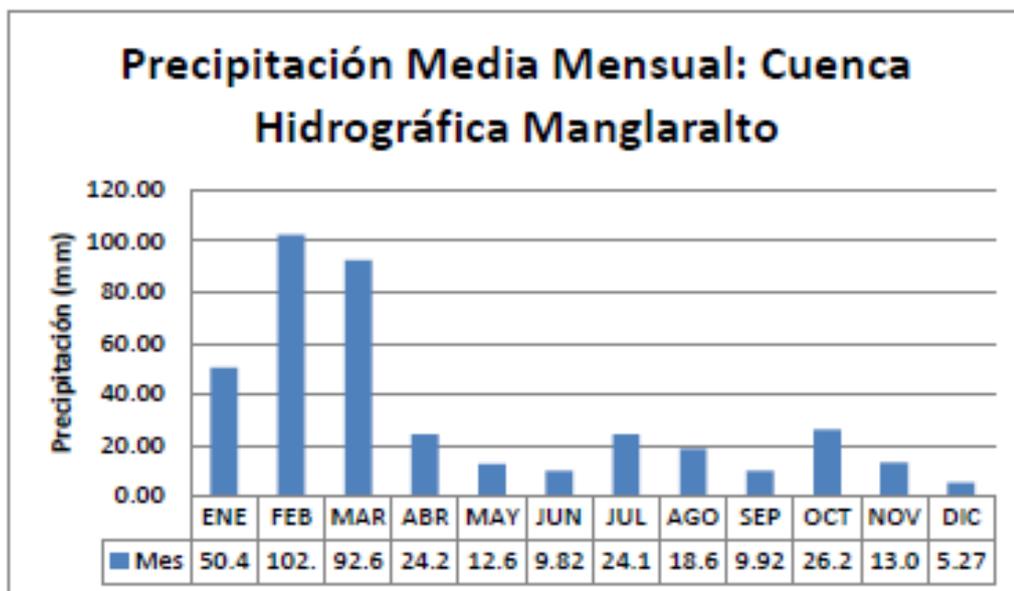


Figura 0.19. Precipitación promedio mensual. Periodo 2000-2015.
Fuente: INAMHI, 2015.

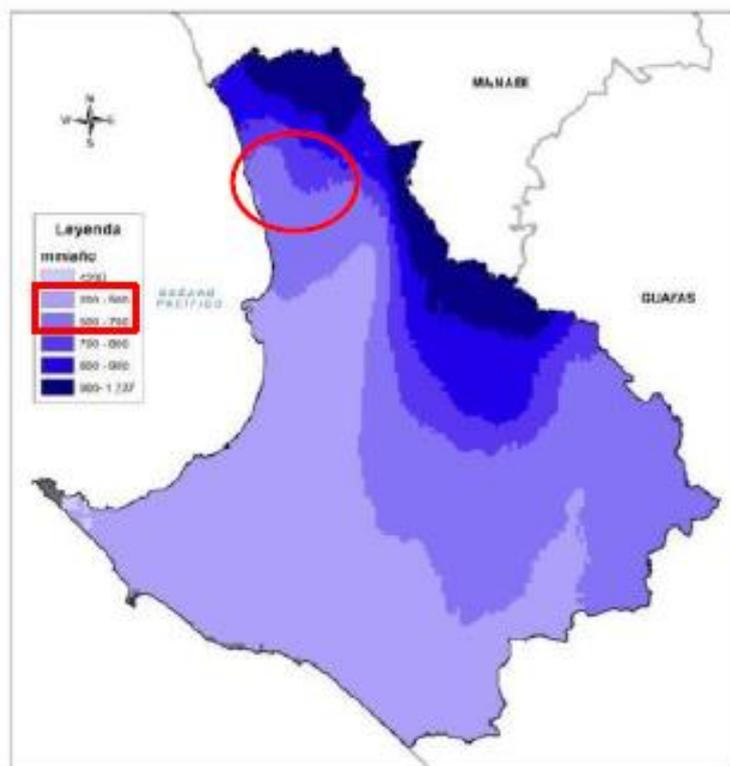


Figura 0.20. Precipitación anual promedio.

Fuente: MAE, 2013.

3.2.2 Temperatura

En la península de Santa Elena la temperatura media anual oscila entre los 21° a 25°C (ver **Figura 3.21.**) mientras que la evapotranspiración supera los 1000 mm y en la cuenca de Manglaralto varía entre 1000 y 1200 mm. Las 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 subcuenca hidrográfica del río 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)

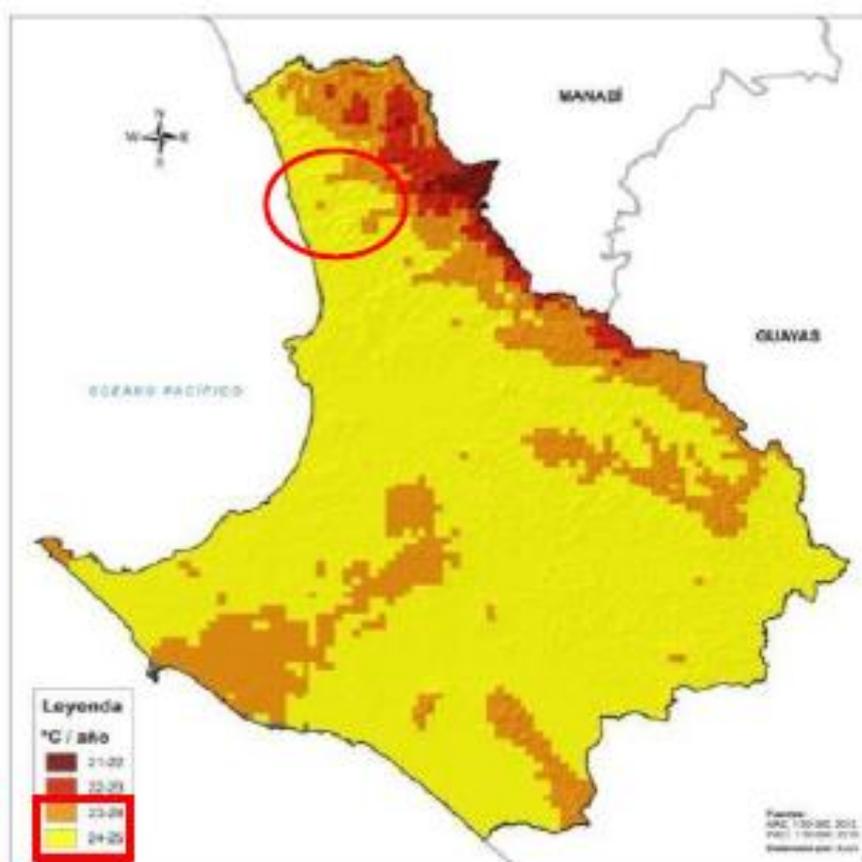


Figura 0.21. Temperatura anual promedio.

Fuente: MAE, 2013.

3.3 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.

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, en periodos muy lluviosos, sube de nivel y desemboca en el mar (ver **Figura 3.22.**) pero no son considerados en este estudio como potenciales acuíferos porque el agua que filtran al subsuelo tiene altos contenidos de sales disueltas.

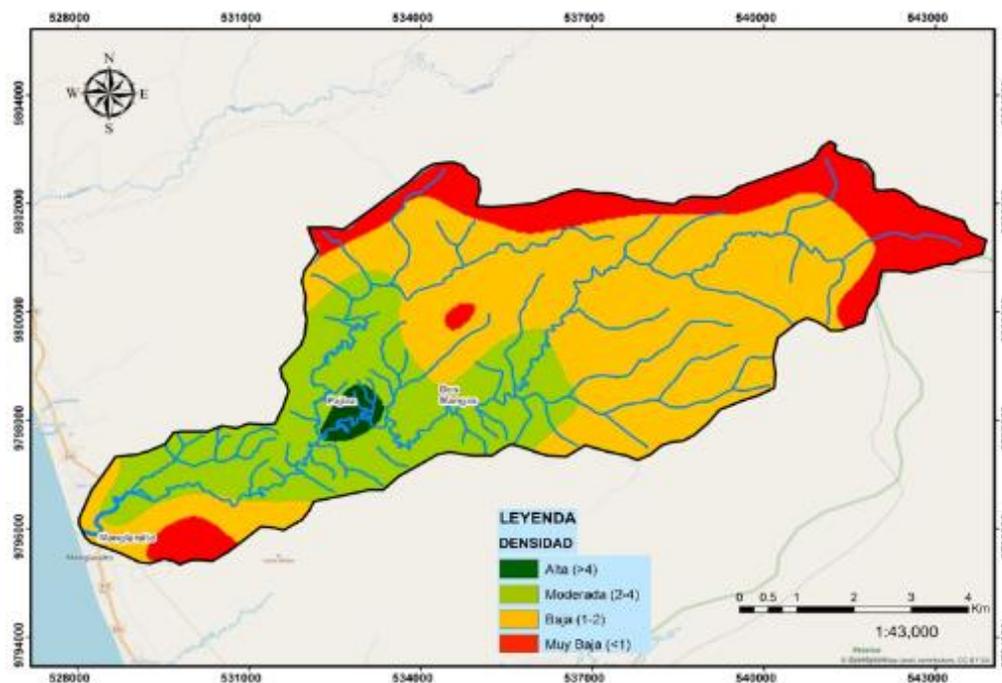


Figura 0.24. Mapa de densidad de drenaje.

Fuente: Modificado de Valencia J., 2017.

3.4 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, (ver **Figura 3.25.**) 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, sobre todo 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.

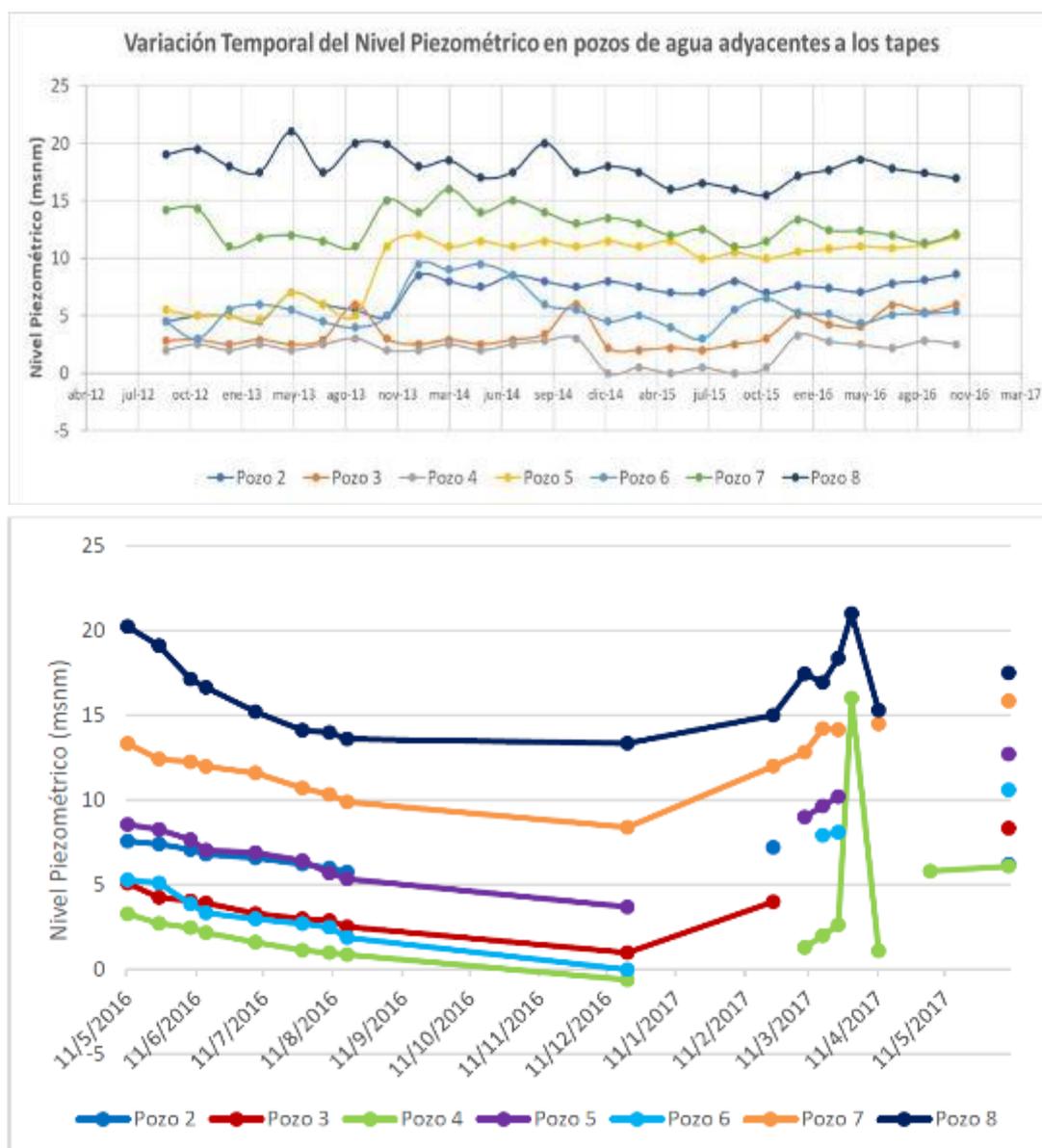


Figura 0.25. Variación temporal de nivel piezométrico en pozos de agua.
Fuente: Herrera, G., Valencia, J., 2017.

3.4.1 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 X 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 X. Variación mensual y anual del consumo de agua subterránea.

Año	Volumen de extracción (m^3)
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, 2017.

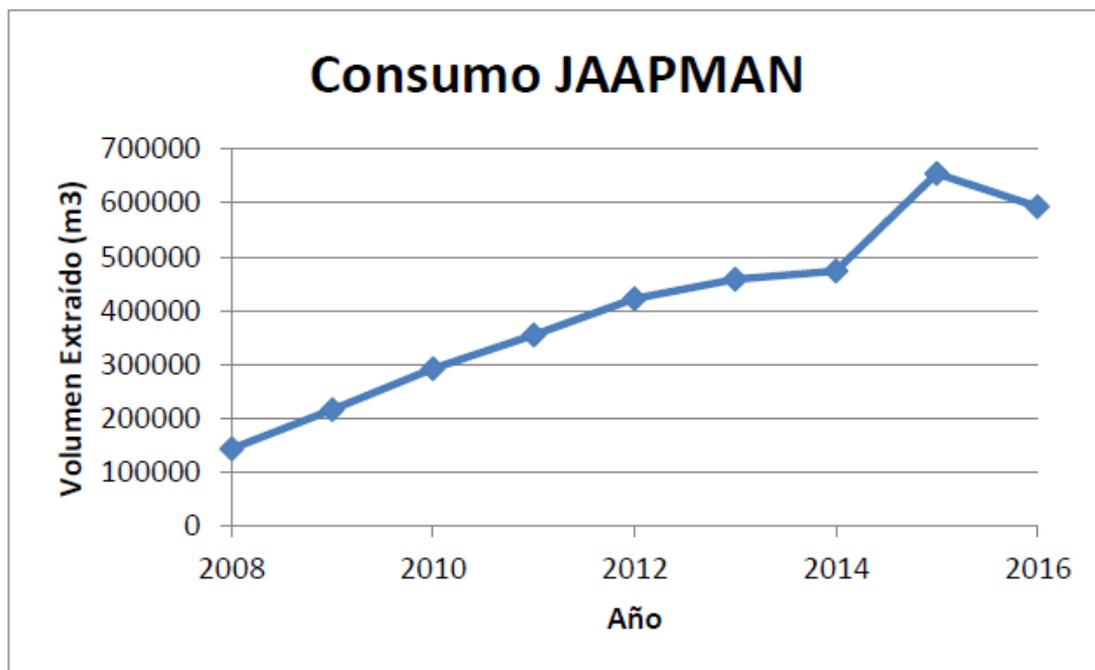


Figura 0.26. Consumo de agua JAAPMAN.

Fuente: Valencia, 2017.

Existe un incremento importante en el consumo de agua hasta el año 2012 (ver **Figura 3.26.**) 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
ANALISIS DE FACTIBILIDAD PARA
LA UBICACIÓN DE DIQUES

4.1 Análisis geológico-geomorfológico

Partiendo de la información de la geomorfología vista en el capítulo 3, para objeto de análisis la subcuenca del Rio Manglaralto será dividida en 3 partes, esto es Subcuenca: Alta, media y baja indicando que con alto nos referimos a la parte que se encuentra al extremo este y con bajo al extremo oeste de la subcuenca.

La **parte alta** de la subcuenca (ver **Figura 4.1.**) está dada por pendiente en grados que oscilan entre los 15 (pendientes moderados) a mayores 35 (pendientes verticales) siendo predominante en un 25% las pendientes fuertes.

Esta morfología está directamente relacionada con la geología en esta parte de la subcuenca, constituidas principalmente por rocas del cretácico en específico de la Fm. Cayo comprendidas por limolitas y areniscas gruesas, tobas, lutitas, hialoclastitas, calizas y brechas volcánicas sedimentos duros y resistentes a la erosión (Amado, 1990).

Por lo que esta parte de la subcuenca por sus características da lugar a una leve erosión con una deposición de estratos aluviales de poca potencia.

La **parte media** de la subcuenca (ver **Figura 4.1.**) está comprendida por pendientes que van desde suaves a fuertes, teniendo una predominancia las pendientes suaves con un 60% con respecto al área en esta parte de la cuenca. Aquí predominan las rocas de la Fm. Socorro que en el tope

de la formación litológicamente se presenta como limolitas y lutitas; con intercalaciones de arenisca y arcillas; Estas rocas son semiduras y están fracturadas debido a esfuerzos compresionales. Por lo que estas características, hacen de esta parte de la subcuenca un área propicia para la deposición de los materiales provenientes del Nor-este acarreados por el Rio Manglaralto

La **Parte baja** de la subcuenca (ver **Figura 4.1.**) comprende pendientes entre suave a moderadas, siendo este el depocentro de los materiales provenientes de la parte alta y media de la subcuenca. Superficialmente constituida por depósitos recientes como gravas y conglomerados algo brechosos, encerrados en una matriz limo-arenosa que se encuentra suprayaciendo a la Fm. Tosagua.

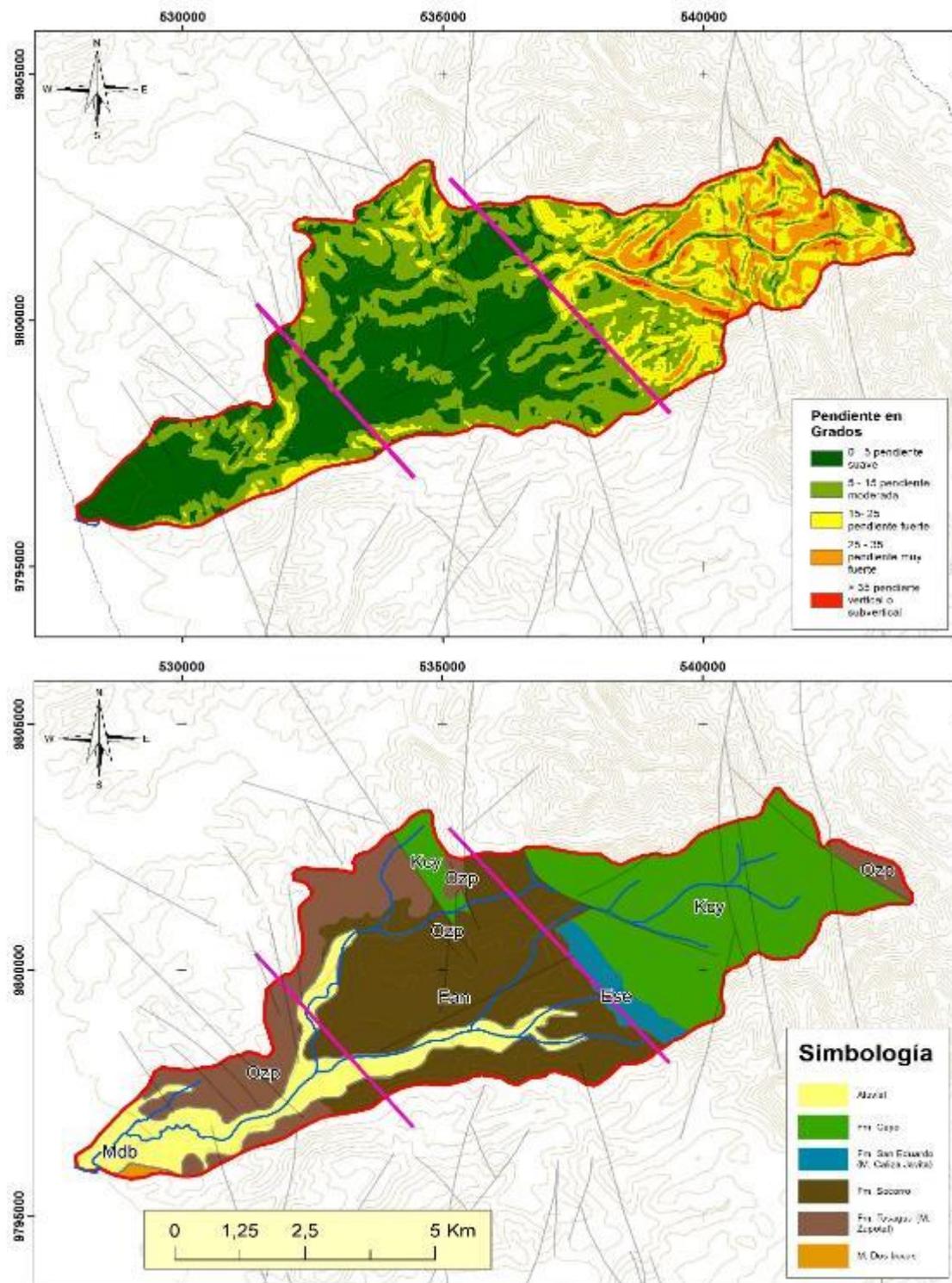


Figura 0.1. Relación entre la geomorfología de la subcuenca y su geología.

Fuente: Autores.,2017

Con esto se conoce que el material aluvial depositado a lo largo del Río Manglaralto aumentaría su espesor a medida que avanzamos hacia la parte baja de la subcuenca, En la parte alta y media de la subcuenca las formaciones debido a su baja porosidad y poca permeabilidad no son aptos para retener la suficiente cantidad de agua como para considerarlo acuíferos, estas litologías corresponden a las capas impermeables que sobreyacen el material aluvial del acuífero en el río Manglaralto.

4.2 Análisis hidrológico-hidrogeológico

4.2.1 Acuífero costero Manglaralto

Siendo el aluvial del río Manglaralto el principal acuífero semiconfinado, del análisis de mapa de espesores de la unidad acuífera propuesta por (Merino, 2014) se tiene que la zona con los mayores espesores corresponde a la:

✓ Zona 1, espesor: 14 – 30 metros Unidad acuífera

A diferencia de las zonas 2 y 3 cuyos espesores de la unidad acuífera están comprendidos entre valores de 3 a 18 metros.

4.2.2 Recarga

A partir de datos meteorológicos de CEDEGE de 1962 a 2007 y de datos de colectores de lluvia ubicados estratégicamente durante el 2013 se estima una recarga natural para el acuífero de un 21% (Merino, 2014).

Por lo que Considerando que el promedio anual de la precipitación en la parte baja es de 781 mm/año y en la parte alta es aproximadamente el doble de la parte baja. Se tiene una tasa de recarga de 164 mm/año en la parte baja y de 274 mm/año en la parte alta.

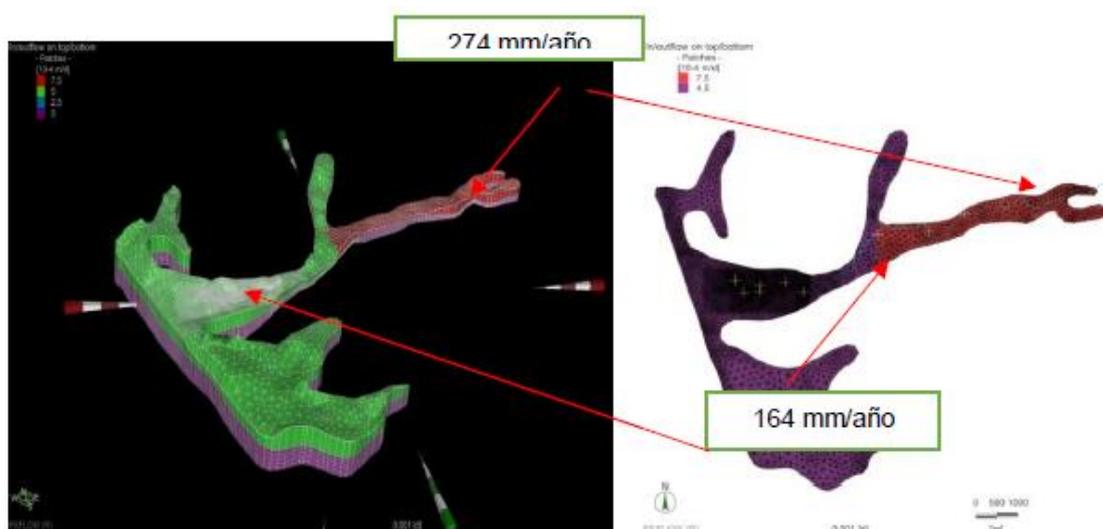


Figura 0.2. Tasa de recarga para el acuífero costero en el río Manglaralto.

Fuente: Merino, 2014.

4.3 Sitios favorables para la ubicación de diques en el río Manglaralto

Debido a que la única vía de recarga del acuífero semiconfinante de Manglaralto es a través de las vertientes que desembocan sus aguas en el río Manglaralto. Las alternativas de propuestas para la ubicación de diques (refiriéndonos a estos como estructuras de dimensiones menores a una represa), se enfocarán a lo largo del río Manglaralto.

(Valencia, 2017) en su estudio: *“análisis hidrogeológico de la cuenca del río Manglaralto para la caracterización de sus sistemas acuíferos”* desarrollo un mapa de zonas potenciales de agua subterránea Figura En el cual define las zonas como las potenciadoras de acumulación de agua subterránea, se tienen 4 categorías, muy alto, alto, moderado y bajo potencial. El mapa muestra que la zona en la subcuenca alta del río Manglaralto tiene muy alto potencial de aguas subterráneas, ya que es donde existen una precipitación media anual de 500 mm, mientras que en la subcuenca 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 con la tabla de ponderación realizada por el método de jerarquización analítica de Saaty.

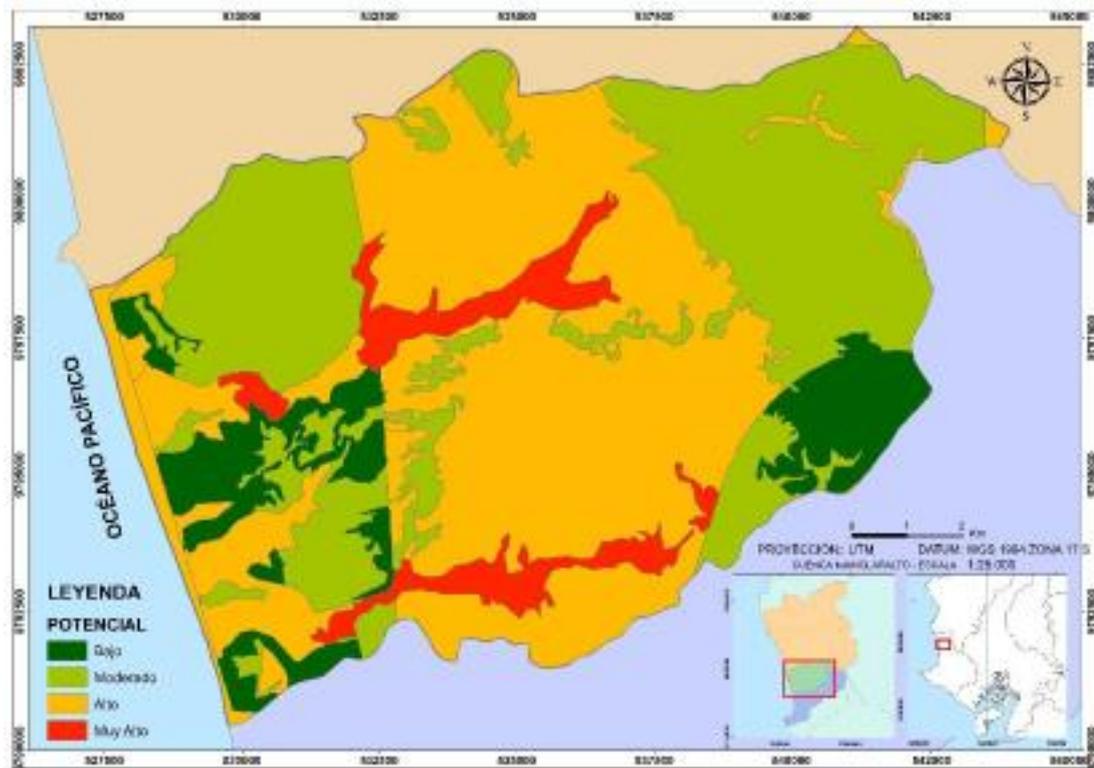


Figura 0.3. Mapa de zonas potenciales de aguas subterráneas.

Fuente: Valencia, 2017

4.4 Conclusiones del análisis de factibilidad para la ubicación de diques

Como conclusión para este capítulo desarrollado se tiene lo siguiente:

- El material aluvial depositado a lo largo del Río Manglaralto aumenta su espesor a medida que se avanza desde la parte alta hacia la cuenca baja.
- En el mapa de espesores de la unidad acuífera propuesta por (Merino, 2014) se tiene que la zona con los mayores espesores corresponde a la Zona 1, espesor: 14 – 30 metros Unidad acuífera

- Con una recarga natural para el acuífero de un 21% (Merino, 2014)
Se tiene una tasa de recarga de 164 mm/año en la parte baja y de 274 mm/año en la parte alta del aluvial.

Es así que el área más favorable para ubicación del dique se encuentra en la zona 1 contenida por la subcuenca baja del río Manglaralto **Figura 4.4.**, este análisis también explica el hecho del porque se tiene la mayor cantidad de pozos perforados en esta zona **Figura 4.5.** Con ello el dique se deberá ubicar cerca de donde exista una considerable cantidad de pozos para aprovechar de manera óptima el aumento de los niveles en el acuífero luego de implantado el proyecto.

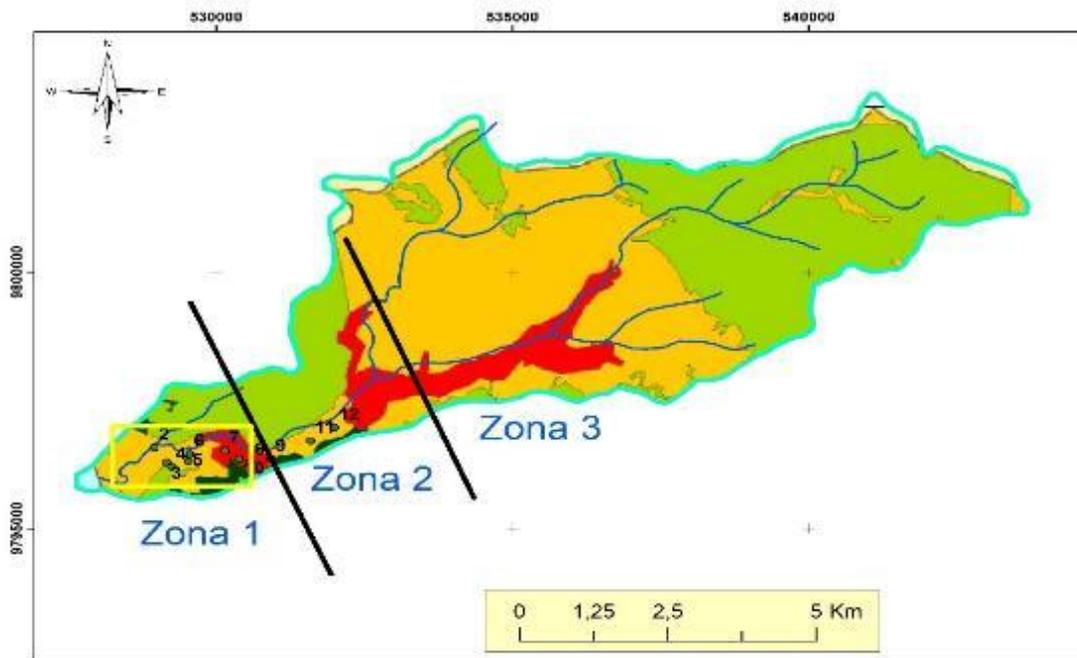


Figura 0.4. Mapa de área favorable para la ubicación de diques en el Río Manglaralto.

Fuente: Autores.,2017.

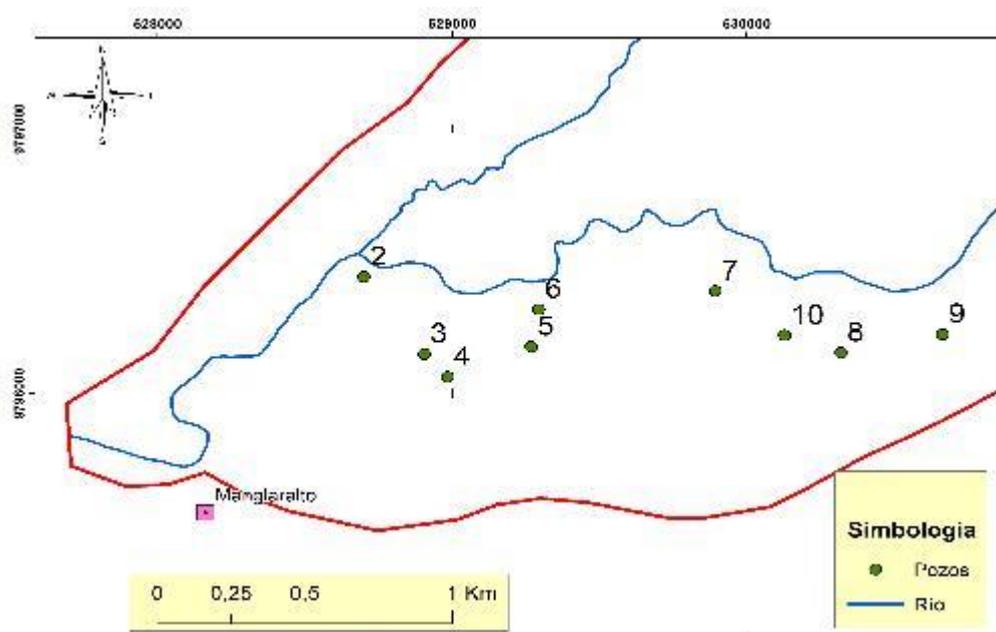


Figura 0.5. Mapa de pozos en la subcuenca baja del Río Manglaralto.

Fuente: Autores.,2017.

4.5 Selección del sitio para la ubicación del eje del dique

A lo largo del río Manglaralto, la Junta de Agua Potable (JAAPMAN), ha realizado varios pozos que extraen agua de acuíferos ubicados cerca del río y que son alimentados por el mismo. Por lo que se realizó una visita técnica el 16 de noviembre de 2018 con el propósito de analizar el sitio de estudio para seleccionar el lugar más idóneo para ubicar el eje del dique donde la morfología del cauce permita una gran acumulación de agua superficial.

Tras una breve visita a la Junta de Agua Potable de Manglaralto (ver **Figura 4.6**) para notificar de las actividades que se realizarían se dio inicio al recorrido, el cual comenzó en las coordenadas UTM (17 M, 528.819,00 E; 9'796.607,00 S) y se desarrolló a lo largo del río Manglaralto, El recorrido finalizó en las coordenadas UTM (17 M, 528.819,00 E; 9'796.607,00 S) (ver **Figura 4.7.**).

De este recorrido se observaron dos lugares en el cauce con una considerable capacidad de embalse debido a su morfología (ver **Figura 4.8.**), la **propuesta 1** de mayor capacidad de embalse si bien fue buena opción, su elección no era factible debido al poco tiempo con el que se contaba para el proyecto por lo que se descartó. la **propuesta 2** con una capacidad de embalse menor se consideró como la opción más factible, además cerca del lugar existe un pozo de la Junta de Agua Potable, lo cual facilitaría el abastecimiento de agua a la población. Las coordenadas del sitio en cuestión son: UTM (17 M, 529.564,00 E; 9796588.00 m S) y es en este sitio donde se realizará el estudio topográfico

para calcular el área de embalse y la sección que tendrá el eje del dique. Ver tabla XI



Figura 0.6. Ubicación de la Junta de Agua Potable de Manglaralto.

Fuente: Autores., 2017.

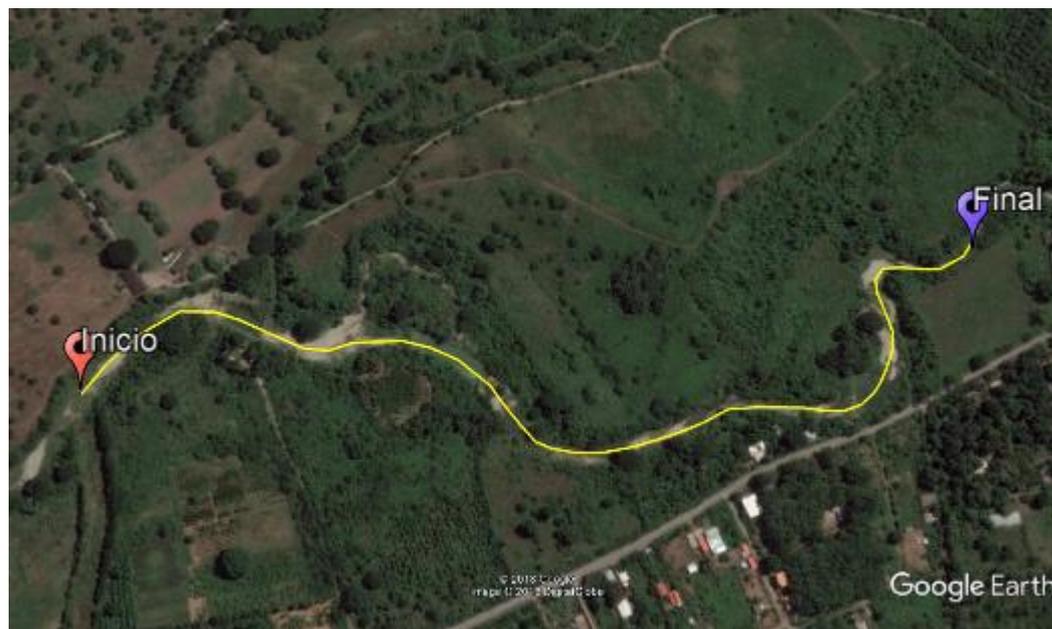


Figura 0.7. Recorrido realizado a lo largo del río Manglaralto.

Fuente: Autores., 2017



Figura 0.8. Propuestas para la ubicación de diques.

Fuente: Autores.,2017.

Tabla XI. Variación mensual y anual del consumo de agua subterránea.

Propuesta	Observaciones de campo	Cercanía a los pozos
1	<ul style="list-style-type: none"> • Permite el acceso a maquinaria pesada para la excavación de calicatas • Lejos de la carretera • Mala recepción de la señal GPS • Mayor área de muestreo • mayor costo de alquiler de maquinaria 	Pozo no. 2
2	<ul style="list-style-type: none"> • Permite el acceso a maquinaria pesada • A pocos metros de la carretera • Excelente recepción de la señal GPS • Área de muestreo menor • Bajo coste de alquiler de maquinaria 	Pozo no. 6

Fuente: Autores.,2017

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA

5.1 Introducción

Luego de la selección del sitio más favorable para la ubicación de un dique en el río Manglaralto, el capítulo en curso detalla Las fases de campo y laboratorio que se llevaron a cabo durante el proyecto, estas son:

Fase de campo

- Topografía del terreno
- Toma de muestras de suelos.

Fase de laboratorio

- Ensayo de muestras.
- Resultados de los ensayos.

5.2 Fase de campo

5.2.1 Topografía del terreno

La topografía juega un papel fundamental en el proyecto, ya que a lo largo del río se debe buscar una sección ideal para la construcción del dique, que maximice la eficiencia y disminuya los costos. Es decir, se debe encontrar una sección que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Que la morfología del cauce sea tal que el volumen de agua que se almacena en el embalse sea considerable, con el objetivo de que esta se infiltre al acuífero.
- Que la sección donde se construirá el dique sea lo más angosta posible, de esta forma se asegura que la longitud del

dique también será corta y así se obtiene un menor costo en la obra.

La topografía de la morfología de un tramo del río Manglaralto fue realizada con un equipo GPS de alta precisión (ver **Figura 5.3**) en tiempo real (RTK, del inglés “Real Time Kinematic”). El procedimiento fue el siguiente:

- Se arma y ensambla el equipo, base principal y antena amplificadora de la señal. (ver **Figura 5.1.**)
- Desde el ordenador de mano se configura el equipo para realizar un nuevo levantamiento.
- Se monta el receptor (base móvil) en su bastón (ver **Figura 3.5**) y se la asegura. (ver **Figura 5.2.**)
- Se sincronizan ambas bases para empezar a tomar los puntos.
- Se toman los puntos necesarios para el modelado. (Ver **Figura 5.4., 5.5.**)
- Se finaliza el levantamiento desde el mando del GPS y se guarda el equipo.



Figura 0.1. Ensamblaje de los equipos del GPS diferencial.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.2. Instalación del trípode con la antena receptora.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.3. Calibración en RTK del equipo de GPS.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.4. Levantamiento GPS batimétrico en el cauce.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.5. Levantamiento GPS superficial en el cauce.

Fuente: Autores.,2017.

Se hizo levantamiento topográfico a toda el área de embalse (ver **Figura 5.5**), a la sección del río donde irá ubicado el dique y a la sección posterior a esta; ubicando las coordenadas de los puntos donde se tomarán las muestras para los ensayos de suelos. Para posteriormente descargar los puntos que se han tomado en un ordenador usando el software Trimble, propio del equipo topográfico y luego realizar un modelado en ArcGIS y de esta forma obtener las curvas de nivel que nos servirán para calcular el volumen de agua que almacenará el dique.

5.2.2 Modelado 3D en ArcGIS y obtención de curvas de nivel

- Como primer paso, se descargan los datos al ordenador, usando el software Trimble del GPS.
- A continuación, se cargarán los datos (puntos) en ArcGIS (ver **Figura 5.6**).
- Se procede a delimitar y modelar el cauce (ver **Figuras 5.7 y 5.8**). Para esto se utilizó el modelador "Natural Neighbor", ya que este era el que mejor se acoplaba a la morfología del cauce.
- El modelado obtenido previamente es recortado en base a las necesidades del proyecto, esto para garantizar precisión en el trabajo.

- Finalmente se utiliza la opción "contour" para obtener las curvas de nivel cada 0,5 m del Modelo digital del terreno (DEM: Digital Elevation Model) (ver **Figura 5.9**).
- Con estas curvas de nivel se calculará el volumen de agua que se almacenará gracias al dique.

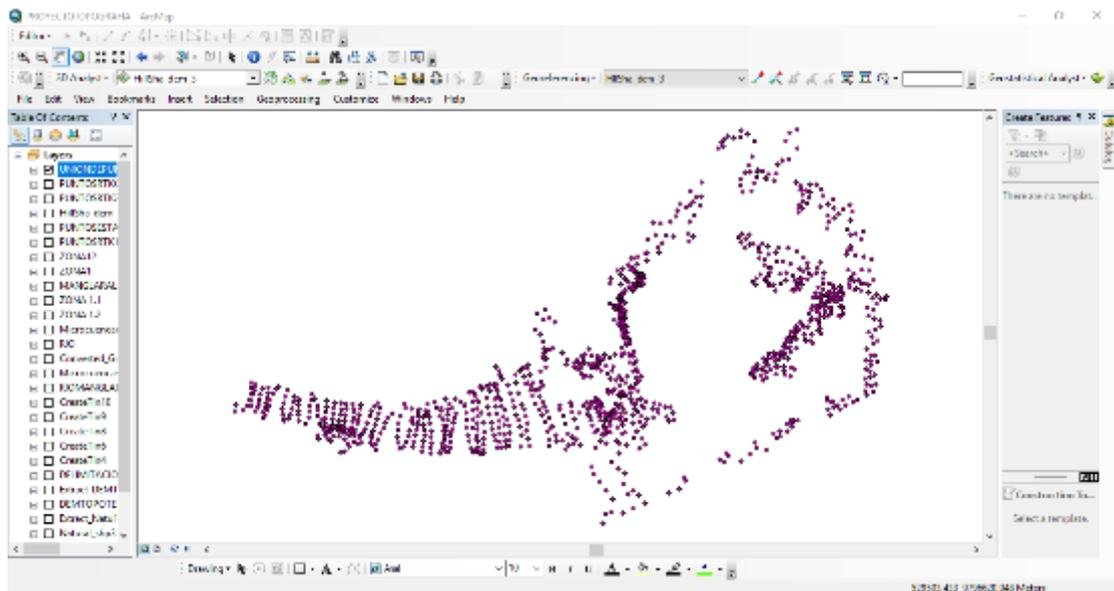


Figura 0.6. Puntos del levantamiento en ArcGIS.

Fuente: Autores.,2017.

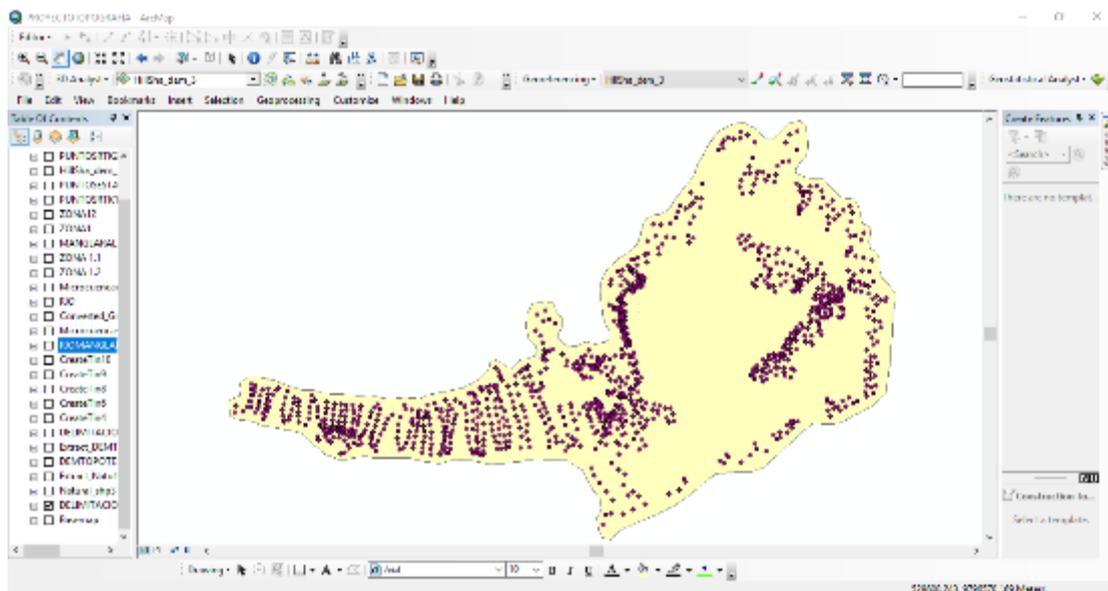


Figura 0.7. Delimitación del proyecto.

Fuente: Autores.,2017.

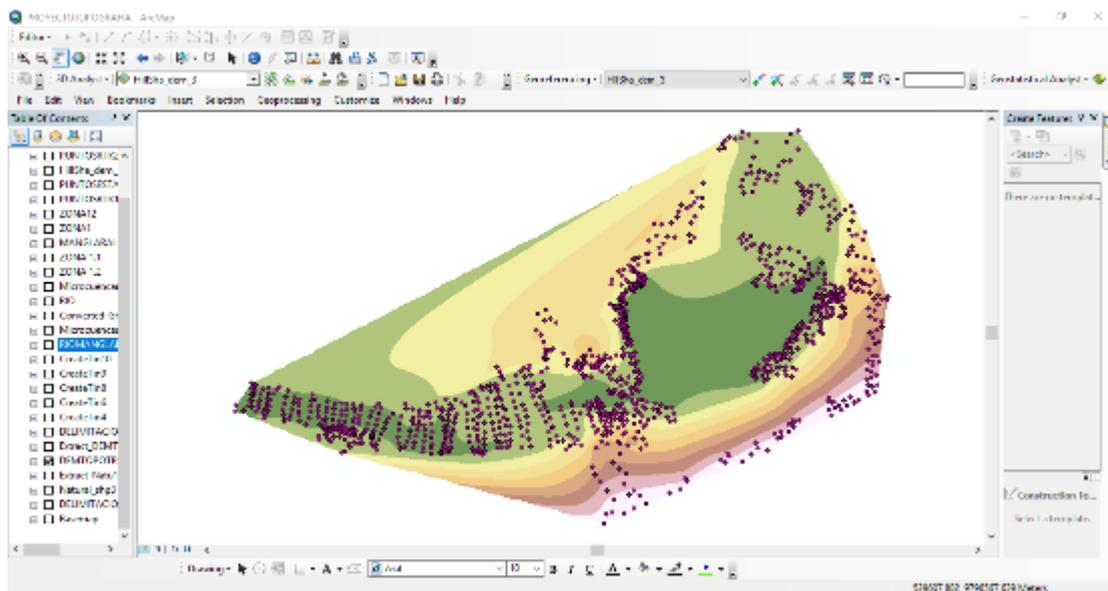


Figura 0.8. Modelado del proyecto.

Fuente: Autores.,2017.

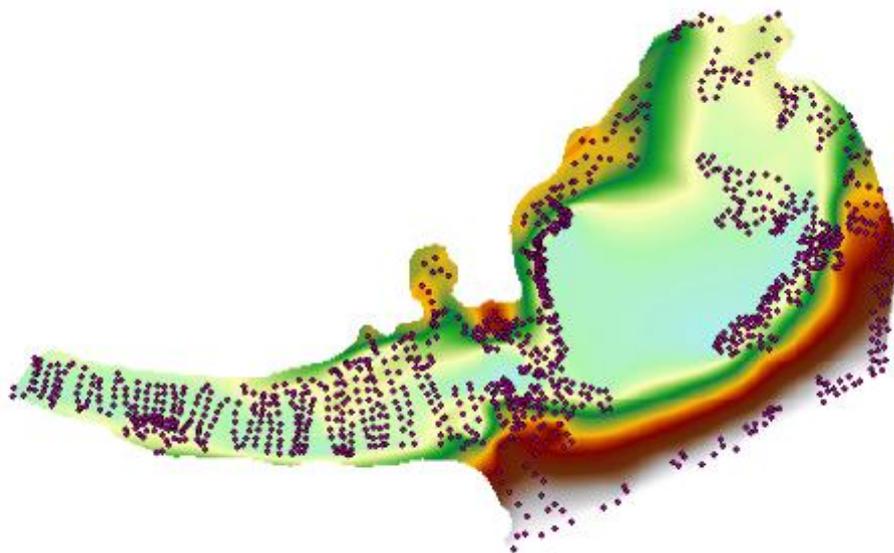


Figura 0.9. Modelado digital del terreno DEM.

Fuente: Autores.,2017.

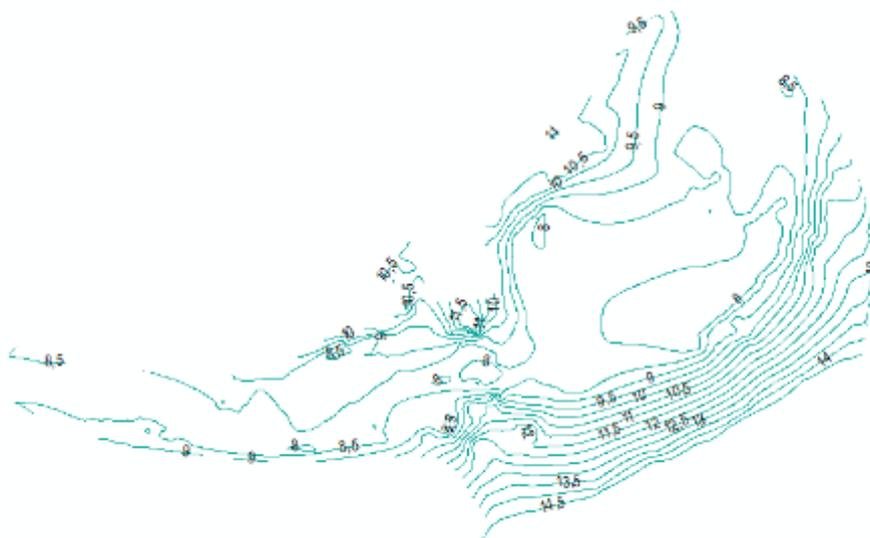


Figura 0.10. Curvas de nivel obtenidas del modelado.

Fuente: Autores.,2017.

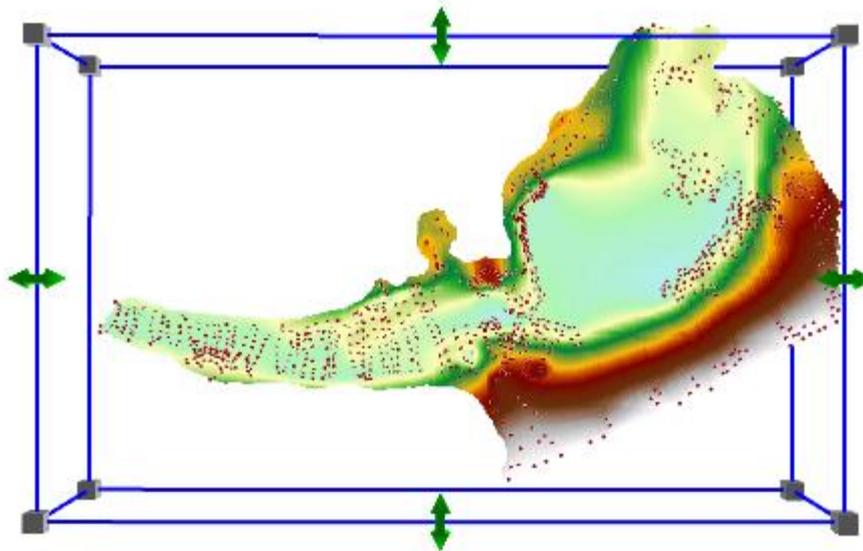


Figura 0.11. Modelo digital del terreno en 3D, Vista superior

Fuente: Autores.,2017.

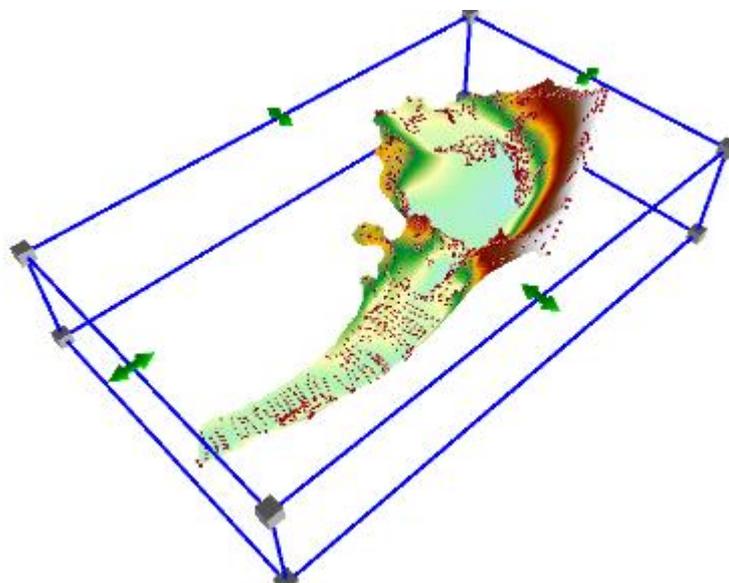


Figura 0.12. Modelo digital del terreno en 3D, Vista suroeste.

Fuente: Autores.,2017.

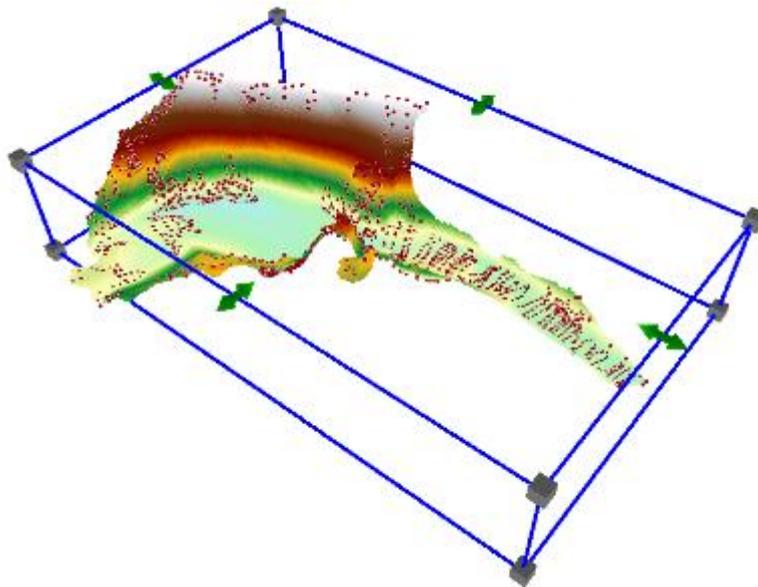


Figura 0.13. Modelo digital del terreno en 3D, Vista noroeste.

Fuente: Autores.,2017.

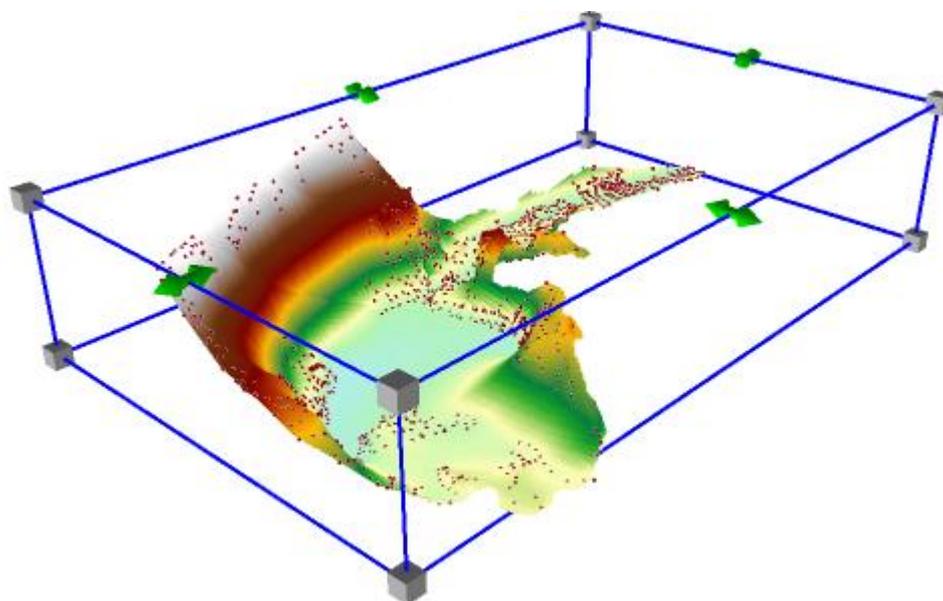


Figura 0.14. Modelo digital del terreno en 3D, Vista noreste.

Fuente: Autores.,2017.

5.2.3 Toma de muestras para ensayos

Para realizar el dique de forma apropiada es necesario conocer las características del sitio en que se lo va a ubicar. Con este fin se tomó muestras en los taludes donde se va a realizar el empotramiento del dique, para realizar ensayos de caracterización del suelo y ensayo triaxial. También se tomó muestras del área donde será el embalse para caracterizar el suelo y para realizar ensayos de permeabilidad.

Tabla XII. Resumen de ensayos realizados y ubicación de muestras.

PUNTO	UBICACIÓN		ENSAYOS	DESCRIPCIÓN
	X	Y		
P1	529558	9796592	- Caracterización del suelo - Triaxial	Talud izquierdo
P2	529564	9796580	- Caracterización del suelo - Triaxial	Talud derecho
P3	529529	9796577	- Caracterización del suelo - Capacidad de almacenamiento	Excavación en río
P4	529545	9796581	- Caracterización del suelo - Abrasión de los Ángeles	Centro del río
P5	529569	9796589	- Capacidad de Almacenamiento	Embalse del proyecto



Figura 0.15. Ubicación de los puntos donde se realizó la toma de muestras para ensayo.

Fuente: Google Earth.,2017.

Según el tipo de muestra, se realizaron diversos ensayos con diferentes propósitos. Para las muestras de los taludes (P1 y P2, en Tabla XII), se realizó ensayo de caracterización de suelos, lo cual abarca granulometría y límites de Atterberg, con el fin de conocer la clase de suelo y su plasticidad; para obtener estas muestras se realizó una excavación superficial (calicata) (ver **Figura 5.20., 5.21.**). Además, se realizó ensayos triaxiales u.u para cada talud; para lo cual fue necesario limpiar el terreno e hincar un tubo shelby para extraer la muestra (ver **Figura 5.22., 5.23., 5.24.**). Este ensayo fue realizado con el objetivo de conocer la cohesión y el ángulo de fricción del material, lo cual nos será útil al momento de diseñar el empotramiento del dique en el terreno.

Con ayuda de una retroexcavadora (ver **Figura 5.18**) se realizó una excavación (ver **Figura 5.19**) de dos metros de profundidad (P3, en Tabla XII), para tomar una muestra del material al cual se le realizará ensayos de caracterización y capacidad de almacenamiento de agua. Este último ensayo tiene el fin de darnos a conocer cuánta agua se puede almacenar entre las partículas del material del río en condiciones saturadas. De esta forma podremos estimar el volumen de agua que se almacenará en el acuífero gracias al dique.



Figura 0.16. Toma de muestras en talud.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.17. Toma de muestras de grava en la superficie para prueba de abrasión.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.18. Toma de muestras a 2 metros de profundidad

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.19. Toma de muestras con retroexcavadora en el cauce.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.20. Calicata hecha con retroexcavadora.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.21. Corte de talud para toma de muestras.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.22. Limpieza de terreno en talud para toma de muestra con tubo shelby.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.23. Hincada de tubo shelby en talud

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.24. Muestra extraída en talud

Fuente: Autores.,2017.

Para las muestras tomadas en el centro del río (P4, en Tabla XII) (ver Figura 5.17.,5.26.) también se realizó ensayos de caracterización además del ensayo de abrasión de Los Ángeles, este ensayo tiene el fin de darnos a conocer si el material del río puede ser usado como agregado en el hormigón que revestirá el dique. En caso de que la abrasión que sufra la muestra durante el ensayo sea menor al 40% se procederá a realizar un cilindro de hormigón para posteriormente ensayar su resistencia a la compresión.



Figura 0.25. Excavación hecha en el río.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.26. Muestra de aluvial para prueba de abrasión.

Fuente: Autores.,2017.

5.3 Fase de laboratorio

5.3.1 Ensayos realizados

El procedimiento que se siguió para realizar cada ensayo es descrito con detalle en el Capítulo II, la presente sección se centrará en los resultados obtenidos de los mismos. Previo a realizar los ensayos de laboratorio, todas las muestras se pusieron a secar (ver **Figura 5.27**), con la finalidad de que la humedad no vaya a alterar los resultados. Los ensayos realizados a las muestras son los siguientes:

- Granulometría.
- Límites de Atterberg.
- Triaxial U.U.
- Abrasión de Los Ángeles.



Figura 0.27. Secado de muestras de suelo para ensayos geotécnicos.

Fuente: Autores.,2017.

5.3.1.1 Granulometría

Para realizar este ensayo de caracterización de suelos, se comienza haciendo un cuarteo de la muestra, buscando que lo que se va a pasar por los tamices sea una muestra representativa y homogénea (material fino y grueso). A continuación, se ordenan los tamices, colocándolos de mayor a menor diámetro,

enseguida se vierte la muestra en los tamices y se enciende el equipo hasta que se considere necesario dependiendo de la cantidad de muestra que se haya vertido. Una vez apagado el equipo se empieza a retirar los tamices superiores hasta llegar a aquellos que tengan material, este se pesa en la balanza y dicho peso se anota en la hoja de cálculo. Se repite el procedimiento hasta tener el peso del material retenido en cada tamiz. Finalmente se calculan los porcentajes de pasante y retenido para realizar la curva del análisis granulométrico.



Figura 0.28. Tamizado de muestras para análisis granulométrico.

Fuente: Autores.,2017.

Los resultados del análisis granulométrico para las muestras ensayadas son los siguientes:

Tabla XIII. Análisis granulométrico para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.

		# Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido (gr)	% Retenido acumulado (gr)	% Pasante acumulado (gr)
PIEDRA O CANTOS		4"				
		3"				
GRAVA	GRUESA	2.5"				
		2"				
		1.5"				
		1"				
		¾"				
	FINA	½"				
		3/8"				
		¼"				
		N° 4				
ARENA	GRUESA	N° 8				
		N° 10	24.08	8.03	8.03	91.97
	MEDIA	N° 16				
		N° 20				
		N° 30				
		N° 40	69.32	23.11	31.13	68.87
	FINA	N° 50				
		N° 60				
		N° 80				
		N° 100	125.02	41.67	72.81	27.19
		N° 200	58.44	19.48	92.29	7.71
	Fondo	22.78	7.59	99.88	0.12	

De los resultados del ensayo se puede observar que la muestra está compuesta por arena bien graduada con algo de limos.

Tabla XIV Análisis granulométrico para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII

		# Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido (gr)	% Retenido acumulado (gr)	% Pasante acumulado (gr)
PIEDRA O CANTOS		4"				
		3"				
GRAVA	GRUESA	2.5"				
		2"				
		1.5"				
		1"				
		¾"	78.8	2.42	2.42	97.58
	FINA	½"	347.1	10.68	13.1	86.90
		3/8"	419.4	12.9	26.01	73.99
		¼"				
		N° 4	1348.20	41.48	67.49	32.51
ARENA	GRUESA	N° 8				
		N° 10	561.75	17.28	84.78	15.22
	MEDIA	N° 16				
		N° 20				
		N° 30				
		N° 40	339.56	10.45	95.22	4.78
	FINA	N° 50				
		N° 60				
		N° 80				
		N° 100	60.60	1.86	97.09	2.91
		N° 200	25.33	0.78	97.87	2.13
		Fondo	19.46	0.6	98.47	1.53

De los resultados del ensayo se puede observar que la muestra es una mezcla de grava mal graduada con un porcentaje considerable de arena gruesa.

Tabla XV. Análisis granulométrico para muestra tomada de la excavación en el río, P3 en la tabla XII

		# Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido (gr)	% Retenido acumulado (gr)	% Pasante acumulado (gr)
PIEDRA O CANTOS		4"				
		3"				
GRAVA	GRUESA	2.5"	726	18.54	18.54	81.46
		2"	172	4.39	22.94	77.06
		1.5"	496	12.67	35.61	64.39
		1"	949	24.24	59.85	40.15
		¾"	179	4.57	64.42	35.58
	FINA	½"	332	8.49	72.9	27.10
		3/8"	126	3.22	76.12	23.88
		¼"				
		N° 4	269.40	6.88	83	17
ARENA	GRUESA	N° 8				
		N° 10	285.03	7.28	90.28	9.72
	MEDIA	N° 16				
		N° 20				
		N° 30				
		N° 40	277.35	7.08	97.37	2.63
	FINA	N° 50				
		N° 60				
		N° 80				
		N° 100	68.03	1.74	99.11	0.89
		N° 200	18.62	0.48	99.58	0.42
	Fondo	13.75	0.35	99.93	0.07	

De los resultados del ensayo se puede observar que la muestra es grava gruesa con un bajo porcentaje de finos. Este material se obtuvo de la excavación en el cauce del río y es una muestra representativa del material que conforma el acuífero somero que se busca alimentar.

Tabla XVI. Análisis granulométrico para muestra tomada superficialmente en el centro del río, P4 en la tabla XII.

		# Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido (gr)	% Retenido acumulado (gr)	% Pasante acumulado (gr)
PIEDRA O CANTOS		4"				
		3"				
GRAVA	GRUESA	2.5"	1152.5	16.01	16.01	83.99
		2"	747.8	10.39	26.39	73.61
		1.5"	1835.70	25.5	51.89	48.11
		1"	1344.6	18.68	70.56	29.44
		¾"	697.40	9.69	80.25	19.75
	FINA	½"	446.70	6.2	86.45	13.55
		3/8"	235.90	3.28	89.73	10.27
		¼"				
		N° 4	301.1	4.18	93.91	6.09
ARENA	GRUESA	N° 8				
		N° 10				
	MEDIA	N° 16				
		N° 20				
		N° 30				
		N° 40				
	FINA	N° 50				
		N° 60				
		N° 80				
		N° 100				
		N° 200				
	Fondo	415.7	5.77	99.69	0.31	

De los resultados del ensayo se puede observar que la muestra consiste en grava, con una relación 80% gruesa y 20% fina aproximadamente. Es de esperarse que esta muestra carezca de finos (arena) ya que se obtuvo superficialmente en el río y los finos se lavan.

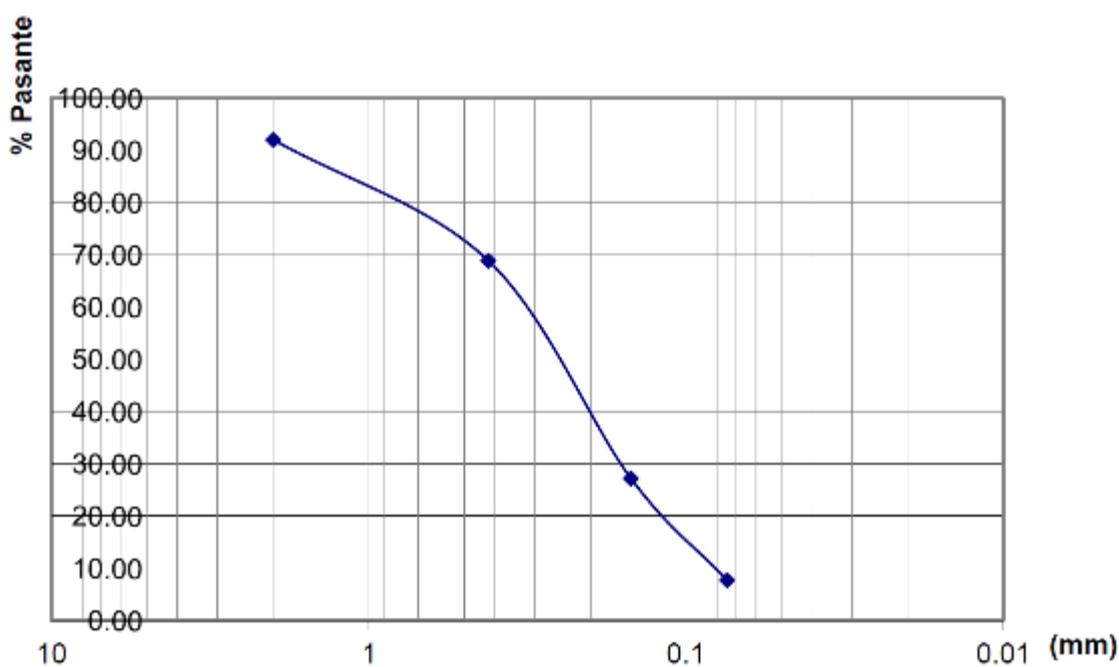


Figura 0.29. Curva granulométrica para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.

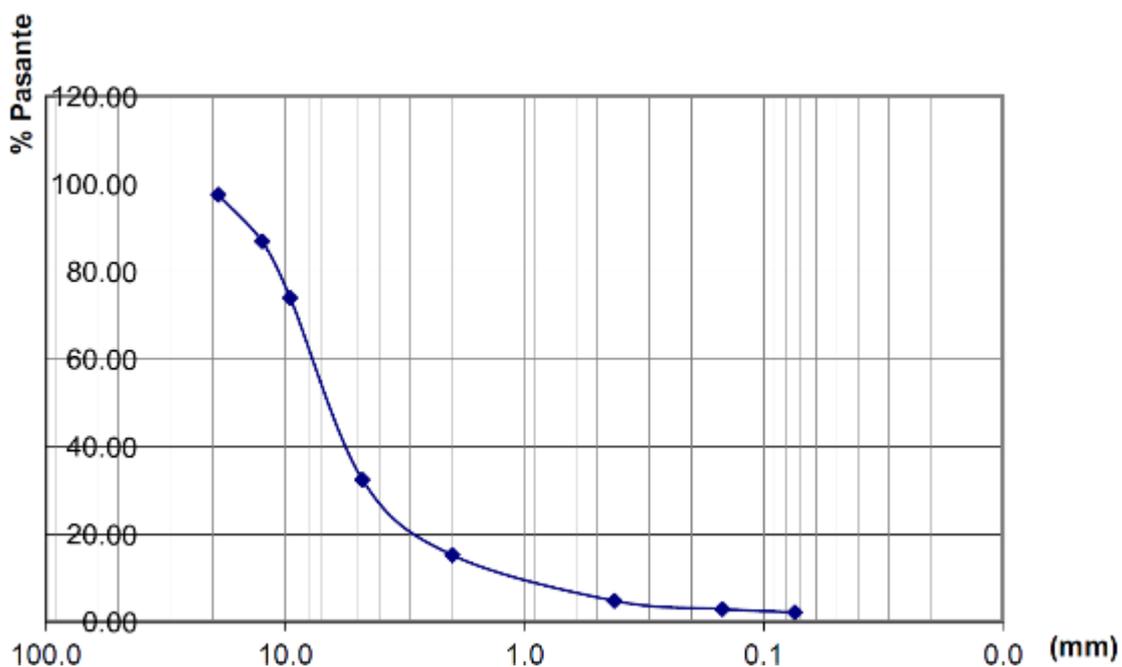


Figura 0.30. Curva granulométrica para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.

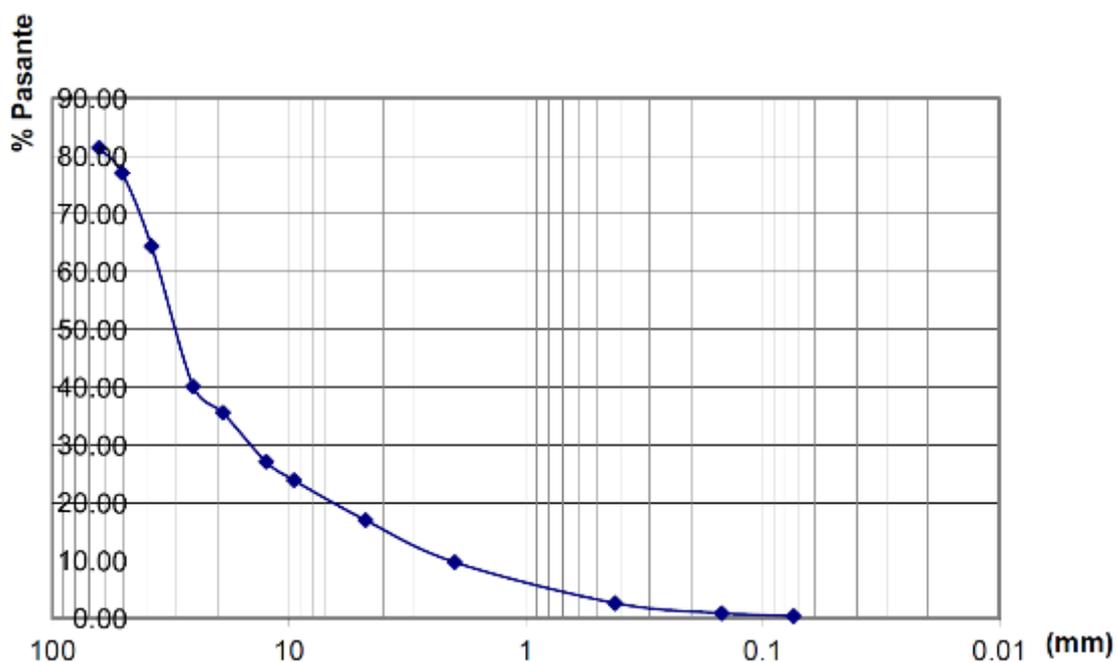


Figura 0.31. Curva granulométrica para muestra tomada de la excavación en el río, P3 en la tabla XII

Fuente: Autores.,2017.

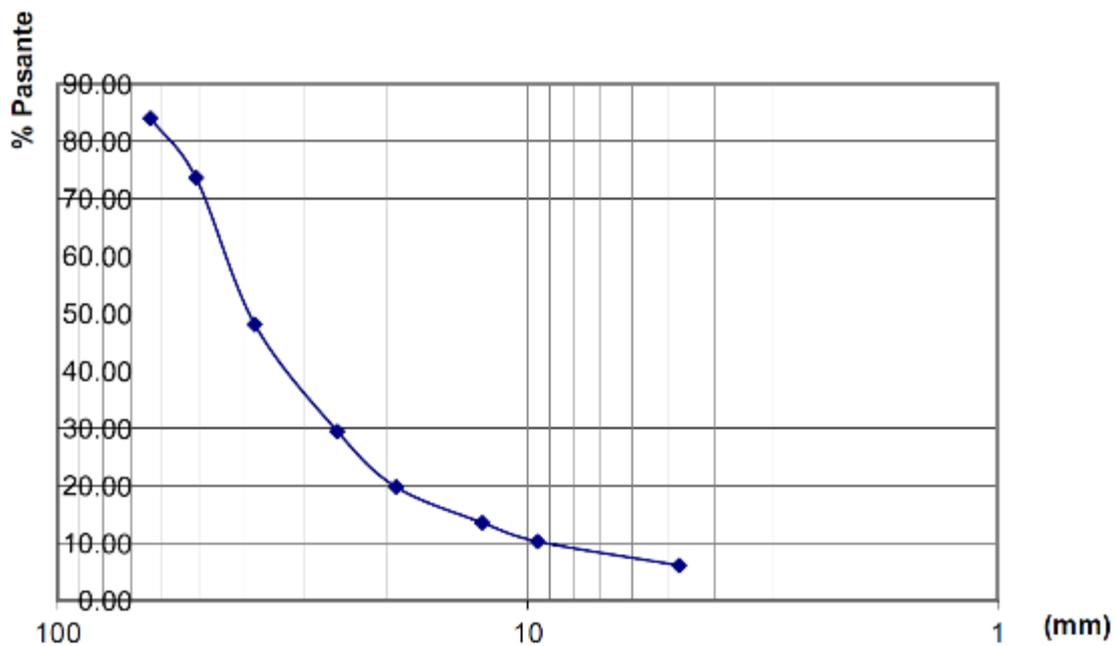


Figura 0.32. Curva granulométrica para muestra tomada superficialmente en el centro del río, P4 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.

5.3.1.2 Límites de Atterberg

Este es el segundo ensayo de caracterización de suelos que se realizó y fue hecho para las muestras tomadas en los taludes (P1 y P2, en la Tabla XII). Los resultados obtenidos, se muestran a continuación:

Tabla XVII. Limite líquido y limite plástico para muestra de talud izquierdo, P1 en la Tabla XII.

LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO	
Nº DE GOLPES	19	23	28	32		
Nº DE RECIPIENTE	107	5	65	19	64	13
Wth+R (gr)	18.71	17.04	14.27	10.51	6.9	7.07
WTs+R (gr)	15.1	13.91	12.08	9.23	6.71	6.86
W RECIP. (gr)	6.05	5.93	6.33	5.79	6.1	6.19
W ω (gr)	3.61	3.13	2.19	1.28	0.19	0.21
W SECO (gr)	9.05	7.98	5.75	3.44	0.61	0.67
ω, (%)	39.09	39.22	38.09	37.21	31.15	31.34

LL:	38.7	LP:	31.2	DATOS	
	IP:	7.4		RESULTADOS	

Fuente: Autores.,2017.

Tabla XVIII. Limite líquido y limite plástico para muestra de talud derecho, P2 en la Tabla XII.

LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO	
Nº DE GOLPES	14	18	26	33		
Nº DE RECIPIENTE	70	11	86	5	39	8
Wth+R (gr)	16.2	14.98	13.92	12.2	6.65	6.79
WTs+R (gr)	12.3	11.57	11.01	9.9	6.45	6.51
W RECIP. (gr)	6.12	6.14	6.3	6.17	5.95	5.92
W ω (gr)	3.9	3.41	2.91	2.3	0.2	0.28
W SECO (gr)	6.18	5.43	4.71	3.73	0.5	0.59
ω, (%)	63.11	62.80	61.78	61.66	40	47.46

LL:	62.04	LP:	43.73	DATOS	
	IP:	18.31		RESULTADOS	

Fuente: Autores.,2017.

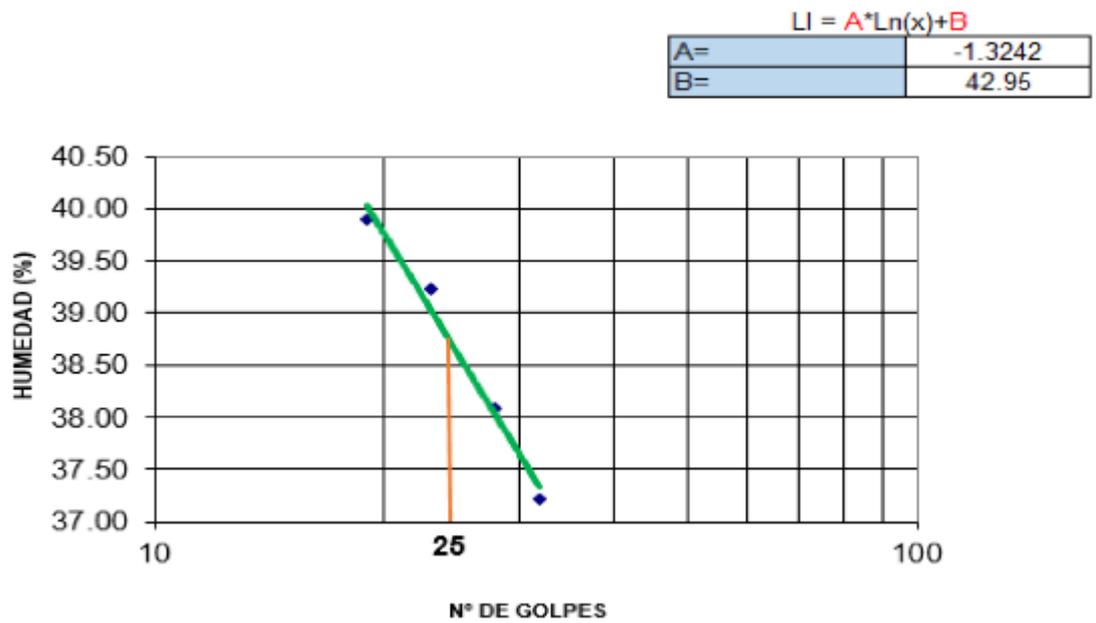


Figura 0.33. Limite líquido para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.

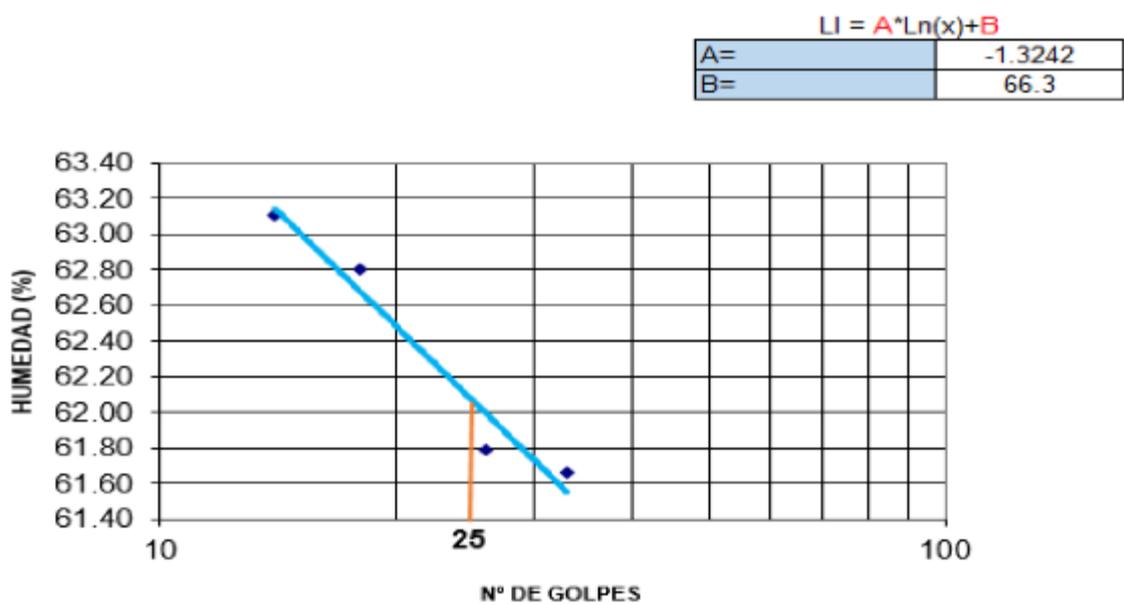


Figura 0.34. Limite líquido para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.

5.3.1.3 Ensayo triaxial U.U

Este ensayo se llevó a cabo exclusivamente para los taludes (P1 y P2, en la Tabla XII). Los resultados obtenidos son los siguientes:

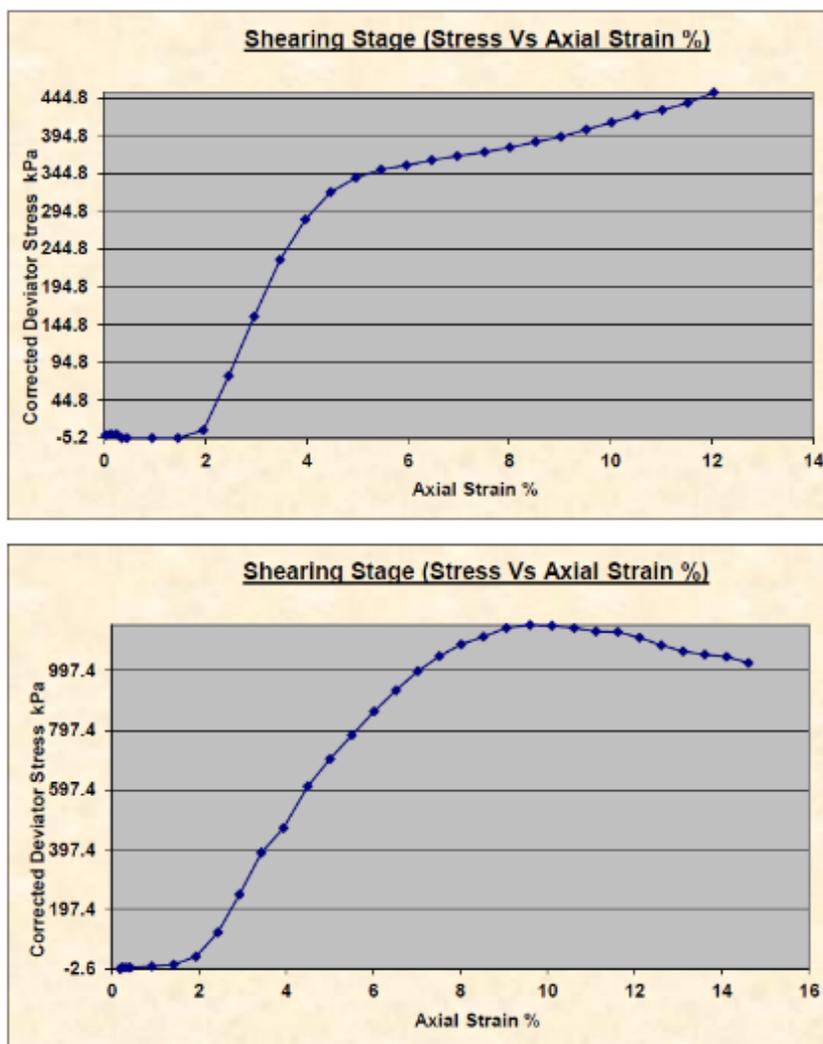


Figura 0.35. Primera y segunda curva de Esfuerzo Vs. Deformación para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.

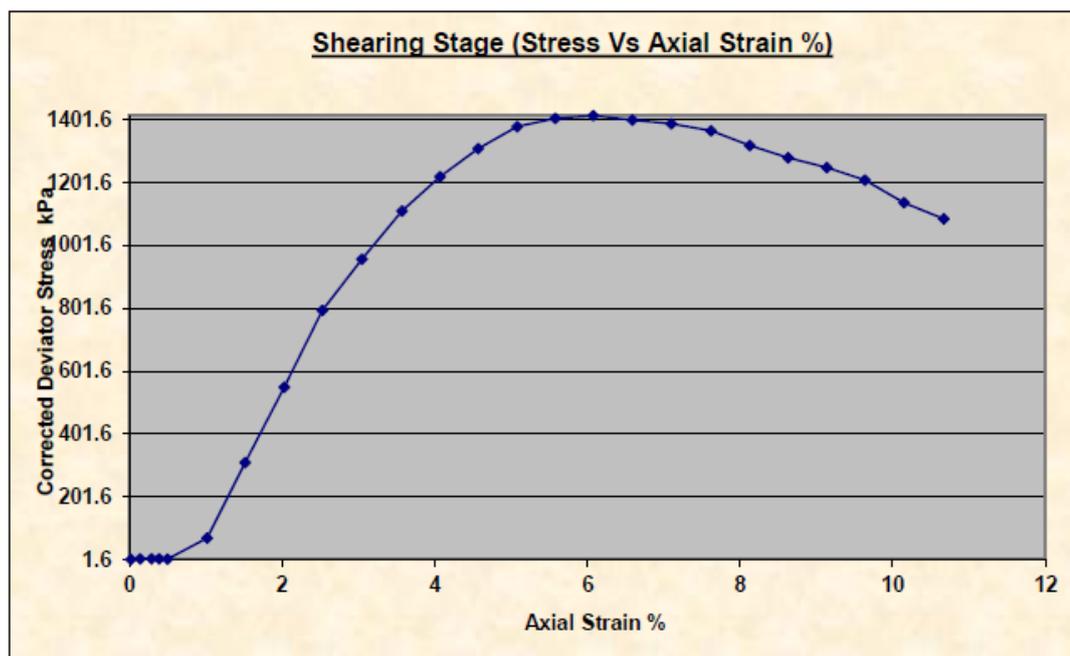
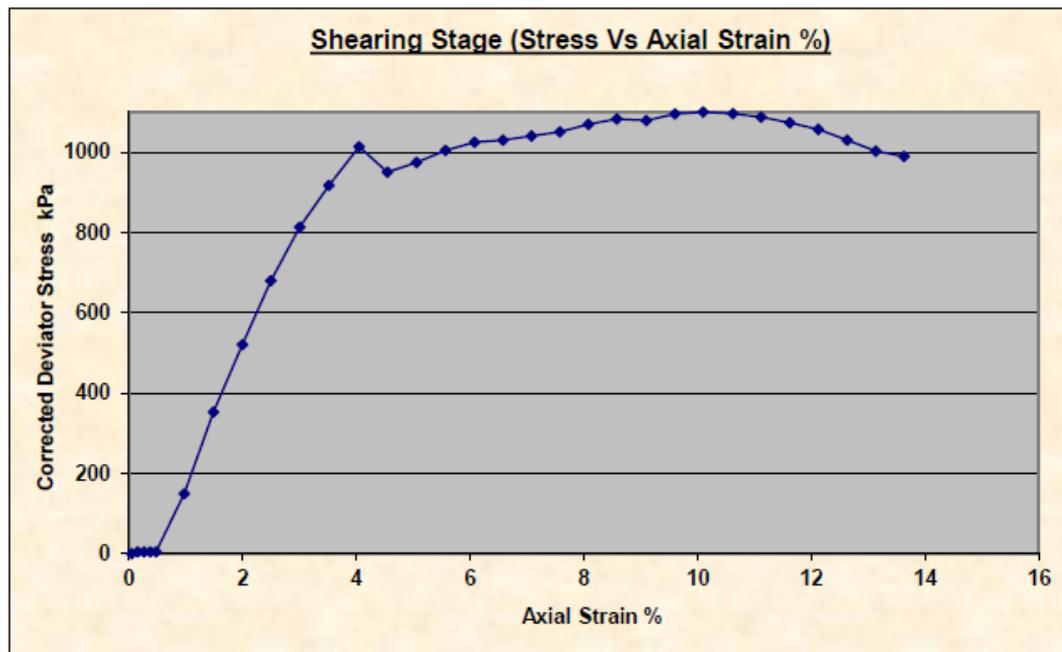
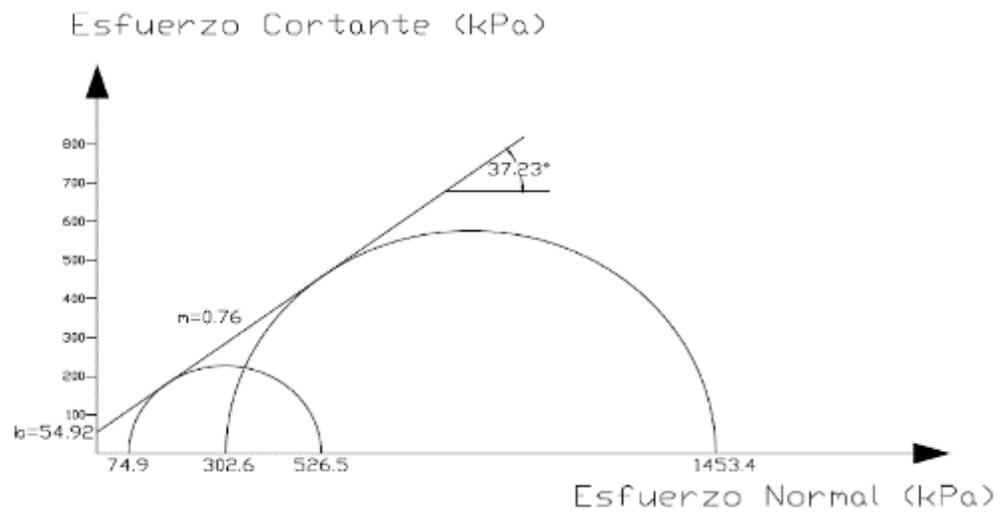


Figura 0.36. Primera y segunda curva de Esfuerzo Vs. Deformación para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.

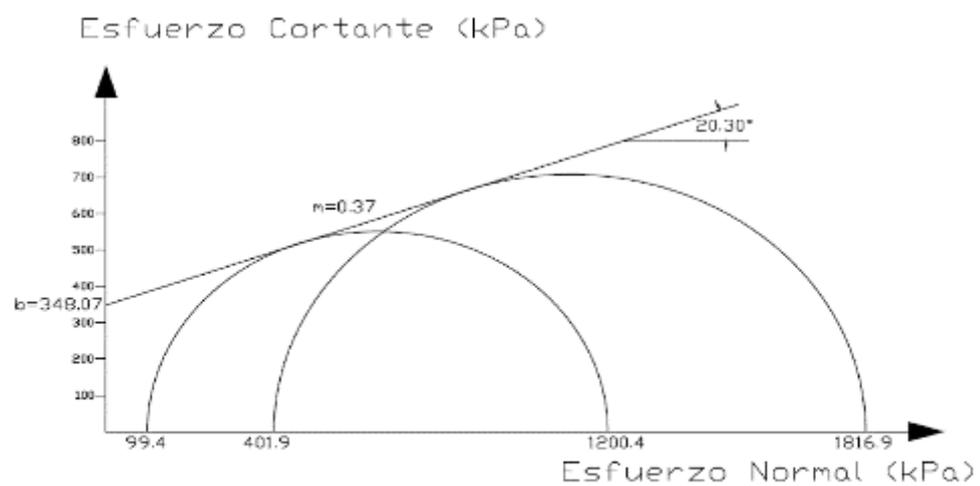
Fuente: Autores.,2017.



Cohesión: 54.92 kPa
 Angulo de fricción: 37.23°

Figura 0.37. Círculos de Mohr para muestra de talud izquierdo, P1 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.



Cohesión: 348.07 kPa
 Angulo de fricción: 20.30°

Figura 0.38. Círculos de Mohr para muestra de talud derecho, P2 en la tabla XII.

Fuente: Autores.,2017.

5.3.1.4 Abrasión de los Ángeles

Dadas las características del material que se ha encontrado a lo largo del cauce del río, se planteó la posibilidad de usarlo como agregado para el hormigón que revestirá el dique, esto representaría un ahorro al momento de ejecutar la obra.

Sin embargo, aunque se busquen ambas cosas, prima la calidad antes que la economía, por lo que se evaluaron las características de este material para saber si es factible usarlo como agregado.

El primer ensayo que se realizó fue el de abrasión de Los Ángeles, debido a que el uso que se le va a dar al hormigón (revestir el dique) hace que esté constantemente sometido a desgaste.

Para comenzar con el ensayo, se separa el material según su granulometría, se pesan 1600 ± 100 gr. según los tamices que indica la Tabla X, esta muestra se lava y se pone a secar al horno.



Figura 0.39. Peso de muestras tamizadas, antes de lavar.

Fuente: Autores.,2017.



Figura 0.40. Peso de muestras tamizadas, antes de lavar

Fuente: Autores.,2017.

Luego, se pesa 1250 ± 5 gr. de cada tamiz, una vez se tenga el peso indicado se junta toda la muestra nuevamente, obteniendo un peso de aproximadamente 5000 gr., se lleva a la balanza y se anota como Peso inicial (P_0). Esta muestra será la que ingrese a la máquina de abrasión de Los Ángeles junto con las esferas de acero que producen el desgaste.



Figura 0.41. Peso de muestras secas, para ingresar a máquina de abrasión de los Ángeles.

Fuente: Autores.,2017.

Luego de 500 revoluciones a 30 rpm en el tambor de la máquina de abrasión según lo indicado por la norma (ver **Figura 5.42**), se hace una separación preliminar del material, tamizándolo por la malla No. 4, el material que pasó la malla No. 4, se lo tamiza por la malla No. 12; el material que se retuvo en el tamiz No. 4, se lo mezcla con el retenido en el tamiz No. 12.



Figura 0.42. Extracción de material luego de la prueba de los Ángeles.

Fuente: Autores.,2017.

El retenido del tamiz No. 12, es lavado, para quitarle los finos adheridos a las partículas. A continuación, se pone a secar el material durante 24 horas una temperatura de 105°C a 110°C y

se pesa con una aproximación de 1 gramo, este será el Peso final (Pf) de la muestra ensayada (ver **Figura 5.43**).



Figura 0.43. Peso final de muestra más recipiente, peso de recipiente

Fuente: Autores.,2017.

Los resultados obtenidos del ensayo son los siguientes:

Tabla XIX. Resultados del ensayo de Abrasión de los Ángeles.

Granulometría de las muestras a ensayar			
Tamices		Peso objetivo (gr)	Peso real (gr)
Pasante tamiz	Retenido tamiz		
1 1/2"	1"	1250	1252.6
1"	3/4"	1250	1251.2
3/4"	1/2"	1250	1250.6
1/2"	3/8"	1250	1250.2
		5000	5004.6

Peso inicial Po:	5004.6
Peso final	
total:	3586
Peso final recipiente:	224
Peso final Pf:	3362
% desgaste	$\frac{P \text{ inicial} - P \text{ final}}{P \text{ inicial}}$
% de desgaste:	32.82%

Fuente: Autores.,2017.

El porcentaje de desgaste es de 32.82%, lo cual es inferior al máximo desgaste permitido (40%) por la ASTM C131 y ASTM A535 (American Society for Testing and Materials). Por lo que se procede a utilizar este material como agregado grueso para la elaboración de un hormigón que tenga una dosificación tal, que adquiera una resistencia cercana a 280 Kg/cm².

CAPÍTULO 6
ANALISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se revisará a detalle los resultados de los estudios y ensayos realizados en el capítulo anterior, analizando su utilidad y como ayudarán en la toma de decisiones para el diseño y construcción del dique.

6.1 Análisis de la topografía del terreno

La morfología del terreno donde se propone ejecutar el proyecto es ideal para el mismo, con un amplio embalse para maximizar el área aportación y un cuello estrecho para minimizar el costo de la obra. La topografía nos permitirá conocer datos fundamentales acerca del terreno que se vinculan directamente con el proyecto:

- Geometría del dique.
- Volumen de agua superficial en el embalse.

6.1.1 Geometría del dique

La geometría del dique, tanto longitud, como altura, depende directamente de la topografía del terreno. No se puede alcanzar una cota más alta que la que permite el cuello del embalse, ya que de lo contrario el agua escurriría por los laterales del dique. La longitud, debe ser la más angosta posible y debe de tener un empotramiento en el terreno natural.

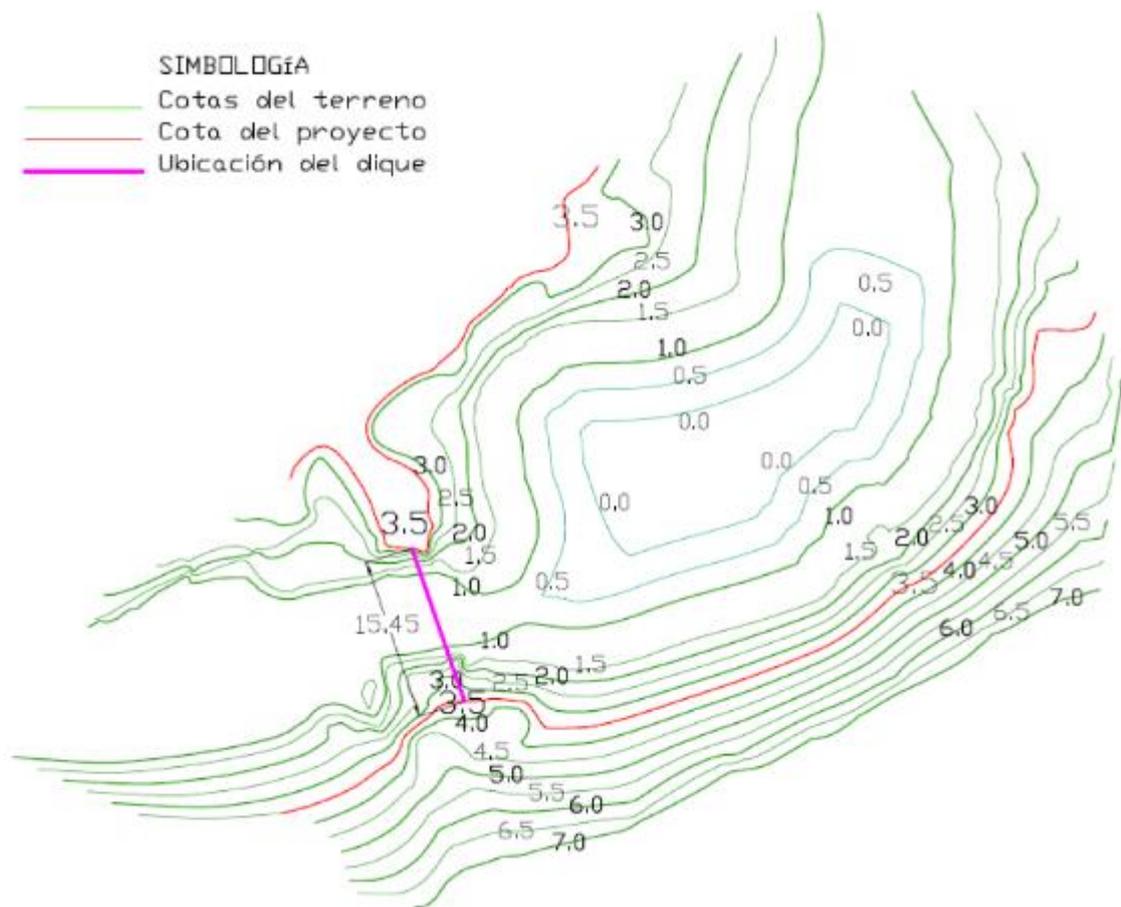


Figura 6.1. Plano topográfico con curvas de nivel cada 0.5m del cauce.

Fuente: Autores.,2017.

Como se aprecia en el plano, la curva de nivel más alta y continua que existe en ambos lados del cauce del río es 3.5, por lo que esta es la cota que alcanzará el dique. Ya que en la parte más baja de esta sección la cota es inferior a 1.0, usaremos 0.5 siendo conservadores, esto se traduce en una altura de 3.0 m para el dique:

$$H = \text{Cota superior} - \text{Cota inferior}$$

$$H = 3.5 - 0.5 = 3.0 \text{ m}$$

La longitud que deberá tener para alcanzar esta cota en ambos lados también se obtiene del plano y es de 15.45 m libres, es decir, sin empotramiento en el terreno.

Así hemos obtenido los primeros datos que nos da la topografía del terreno:

$$\text{Altura del dique (H)} = 3.00 \text{ m}$$

$$\text{Longitud libre del dique (L)} = 15.45 \text{ m}$$

Esta altura de cortina estaría por debajo de la cota de las planicies, evitando así que el agua represada pueda desbordarse.

6.1.2 Capacidad superficial de almacenamiento

El primer paso para calcular el volumen de agua almacenado en el embalse es simular un reservorio cerrado, ya que sólo queremos calcular el volumen almacenado en esa parte y no aguas arriba del río. Para ello nos servimos nuevamente del programa ArcGIS, para delimitar el área del embalse y obtener nuevas curvas de nivel.

A continuación, Utilizando el software Arcmap con la herramienta "Polygon Volumen" fijando una cota base cuyo valor corresponde al nivel más bajo superficialmente en el cauce (Ver

figura 6.2). Finalmente obtenemos el volumen total de agua almacenada en el reservorio aproximadamente de 4641,88 m³

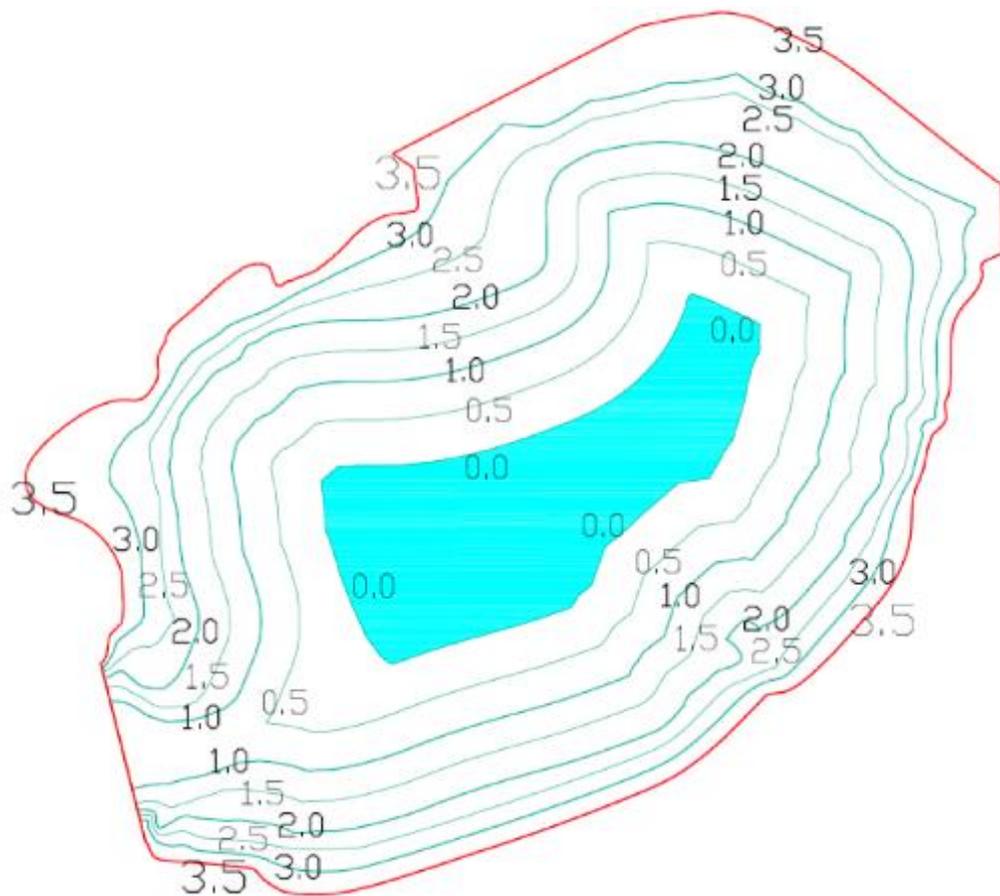


Figura 6.2. Cota base para calcular la capacidad de almacenamiento superficial.

Fuente: Autores.,2017.

6.2 Análisis de los ensayos geotécnicos

De los ensayos vistos en el capítulo anterior se tiene que el talud izquierdo (P1) está conformado por arena fina y el talud derecho (P2)

está conformado por grava fina cohesiva. Esto explica porque los tapes colocados anteriormente, hechos de gaviones habían sido arrastrados por la corriente del río. La granulometría del material superficial del río revela que éste, luego de un tamizado in situ para separar la grava fina de la gruesa, puede servir como agregado para el hormigón que revestirá el dique.

El ensayo de capacidad de almacenamiento de agua sirvió para calcular el volumen de agua almacenada superficialmente, aproximadamente de 4642 m³, justifica la implementación del proyecto.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los depósitos aluviales que se extienden a lo largo del Río Manglaralto en la subcuenca de Manglaralto, presentan en su mayoría arenisca, conglomerados y suelos granulares, clasificándolas como grava mal graduada con mezclas de arena, regularmente compacta, según la SUCS, que son considerados como materiales altamente permeables como las más probables o potenciales de aguas subterráneas.

En el área de estudio se presentan fracturas locales, fallas consideradas inactivas que aumentan la permeabilidad del suelo, y a su vez, esto permita el paso del agua a profundidades capaces de potencializar el aumento de aguas subterráneas, y la posible recarga del acuífero.

Todos los sismos capaces de generar daños estructurales en el dique son principalmente originados por la principal zona sismogénica que corresponde a la zona de subducción de la placa de nazca debajo de la continental.

Del modelado del cauce, se obtuvieron curvas de nivel a detalle con precisión de hasta 0.5 metros. La cortina del dique se propone que debiera tener 3 metros, con esto se deja aproximadamente 2 metros

libres antes de llegar a la planicie evitando así el desborde intempestivo en cauce de una lluvia torrencial. El almacenamiento superficial que provocaría un tape con una cortina de altura de 3 metros se estima que sería de $4641,8 m^3$.

Considerando los resultados de los parámetros geotécnicos, se puede concluir que la construcción del dique como parte de la solución al problema de escasez de agua de la Parroquia Manglaralto es factible.

RECOMENDACIONES

Para la extracción de muestras del subsuelo, se debe buscar la técnica más adecuada dependiendo de factores tales como: El tipo de proyecto, su duración, acceso a la maquinaria, y el costo. Para el caso en estudio, el método más exequible fue el uso de una retroexcavadora para el desarrollo de calicatas.

Información topográfica más a detalle sería de gran utilidad para acoplar de mejora manera la topografía diferencial con la General y así obtener una mejor estimación en la capacidad de almacenamiento superficial.

Si se tiene acceso a un equipo de dron, este ahorraría tiempo en la toma de información de topografía ya que, debido a las condiciones de

nubosidad, acceso al sitio, y la densa vegetación el GPS diferencial tuvo en ciertos momentos complicaciones para la toma de datos.

BIBLIOGRAFÍA

AMADO, JUAN CARLOS. 1990. "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA BAJA DEL RIO MANGLARALTO."

CAPOTE, JORGE. 2014. "LA MECÁNICA DE SUELOS Y LAS CIMENTACIONES EN LAS CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES."

CARRIÓN, P. ET AL. 2017. "ARTÍCULO RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS, EXPERIENCIA DE ORIGEN ANCESTRAL."

CEPAL. 2015. DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR.

CHUNGA, K. 2015. "ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO DERIVACIÓN LAS JUNTAS – CONDUCCIÓN PRESA CIÉNEGA."

CHUNKA, K. 2016. GEOLOGIA DE TERREMOTOS Y TSUNAMI.

DGGM. 1974. "HOJA GEOLÓGICA DE MANGLARALTO-ECUADOR." INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR.

DUMONT, J. F. ET AL. 2005. "MORPHOLOGICAL AND MICROTECTONIC ANALYSIS OF QUATERNARY DEFORMATION FROM PUNÁ AND SANTA

CLARA ISLANDS, GULF OF GUAYAQUIL, ECUADOR (SOUTH AMERICA).”
TECTONOPHYSICS.

EGUEZ, ARTURO ET AL. 2003. “BASE DE DATOS Y MAPA DE FALLAS CUATERNARIAS Y PLIEGUES DE ECUADOR Y SUS REGIONES MAR ADENTRO.”

HERRERA, JUAN AND JORGE CASTILLA. 2012. “UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE SONDEOS EN ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.”

HERRERA, G. 2015. ESTUDIO PARA UN MODELO DE GESTIÓN DE UN ACUÍFERO COSTERO, MEDIANTE METODOLOGÍAS PARTICIPATIVAS Y ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO EN EL MARCO DEL DESARROLLO LOCAL. MANGLARALTO, ECUADOR.

LAMBE, WILLIAM AND ROBERT WHITMAN. 2012. “MECÁNICA DE SUELOS.”

MAYORAL, JUAN MANUEL, MIGUEL PEDRO ROMO, AND JENNY RAMÍREZ. 2010. “PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR PROPIEDADES DE LOS SUELOS.”

MERINO, E., 2014. EVALUACIÓN DE LA INTRUSIÓN SALINA EN UN ACUÍFERO COSTERO Y EL IMPACTO AL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN MANGLARALTO PROVINCIA DE SANTA ELENA.

NEC. 2011. "NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC: NEC-SE-DS - PELIGRO SÍSMICO/DISEÑO SISMO RESISTENTE."

NÚÑEZ DEL ARCO, EUGENIO. 2003. "GEOLOGÍA DEL ECUADOR."

VALLEJO, LUIS GONZALEZ, MERCEDES FERRER, LUIS ORTUÑO, Y CARLOS OTEO. 2002. INGENIERÍA GEOLÓGICA.

VALENCIA, J., 2017. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MANGLARALTO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUS SISTEMAS ACUÍFEROS

WWDR, PNUD. 2016. (PROGRAMA MUNDIAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS NACIONES UNIDAS).