

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES**

## **PROYECTO DE TITULACIÓN**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”**

### **TEMA:**

PROPUESTA DE DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN,  
ACONDICIONAMIENTO DE UN POZO DE AGUA Y SU  
INCIDENCIA EN LA VULNERABILIDAD  
DEL ACUÍFERO COSTERO EN MANGLARALTO

### **AUTOR:**

MARCO ANTONIO ARÉVALO ULLOA

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2017

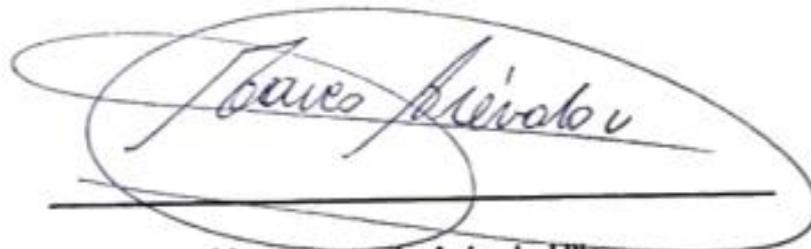
## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por el don de la vida, por conducirme por el camino del bien y ser mi guía.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.



Marco Antonio Arévalo Ulloa

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

M.Sc. Dick Zambrano Salinas  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



---

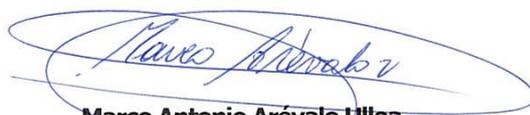
Dr. Paúl Carrion Mero  
DIRECTOR DEL PROYECTO



---

M.Sc. Nadia Flores Manrique  
VOCAL DEL TRIBUNAL

## AUTOR DEL PROYECTO



**Marco Antonio Arevalo Ulloa**

## RESUMEN

Los acuíferos costeros son un medio natural de gran relevancia para el abastecimiento de agua en zonas rurales. Este trabajo describe la propuesta de diseño, construcción y acondicionamiento de un pozo de agua, correlacionado con datos geofísicos, niveles del acuífero, descripción del suelo y revisión de la información hidrogeológica, en el acuífero costero de Manglaralto, para la configuración del mapa de vulnerabilidad, mediante el método GOD.

Para la realización del estudio, se realizó en tres fases: 1) Preliminar: donde fue recolectado información y datos históricos previos como: geológicos, geofísicos, geoquímicos, mapas de geomorfología; para tener un conocimiento más amplio a las necesidades. 2) Trabajo de Campo: se realizó toma de datos geofísicos, SEV e hidrogeológicos. 3) Resultados: los datos de geofísica fueron procesados y analizados en el programa IPI2win seguidos del ajuste de la curva de campo, que demuestra la resistividad, espesor y profundidad de las capas del subsuelo, los cuales fueron correlacionados con la geología de la zona y los parámetros hidrogeológicos.

Mediante el método de GOD se realizó el análisis de vulnerabilidad y mediante el uso del sistema de información geográfica se elaboró el mapa de vulnerabilidad del acuífero costero de Manglaralto. El rango de vulnerabilidad es de: media a extrema, siendo los valores más altos los que están sobre el cauce del río y su margen derecha. Posteriormente, se procedió a la construcción del pozo # 11, teniendo un caudal de 7 l/s

**Palabras claves:** construcción de un pozo de agua, acuífero costero, método de GOD, vulnerabilidad.

## ABSTRAC

Coastal aquifers are a natural environment of great relevance for the supply of water in rural areas. This paper describes the proposal for the design, construction and conditioning of a water well, correlated with geophysical data, aquifer levels, soil description and revision of the hydrogeological information, in the coastal aquifer of Manglaralto, For the configuration of the vulnerability map, using the GOD method.

For the accomplishment of the study, was carried out in three phases: 1) Preliminary: Where it was collected information and historical data previous as: geological, geophysical, geochemical, maps of geomorphology; To have a broader understanding of the needs. 2) field work: Geophysical, BSS and hydrogeological data were taken. 3) Results: Geophysics data were processed and analyzed in the IPI2win followed by the adjustment of the field curve, which demonstrates the resistivity, thickness and depth of the subsoil layers, which were correlated with the geology of the area and the hydrogeological parameters. Through the method of GOD, the vulnerability analysis was carried out and through the use of the geographic Information System, the vulnerability map of the Manglaralto Coastal aquifer was developed.

The vulnerability range is: Medium to extreme, with the highest values being on the river bed and its right margin. Later on, we proceeded to the construction of well # 11, having a flow of 7 L/s.

**Keywords:** Water well construction, coastal aquifer, GOD method, vulnerability

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación al ser que todo lo puede, al ser más noble y sublime, nuestro Padre Celestial.

Sr. José Arévalo (+): abuelo querido que siempre estuviste a mi lado en todos los momentos de mi vida y por el apoyo espiritual que me brindaste.

A mi hija, Diana, a mis hijos, José y Jeremy, ya que sus presencias y vidas rebosantes, son fuentes de energía, motivación y agradecimiento.

MBA. Edwin Tamayo Acosta: amigo incondicional que me brindó su amistad y apertura para integrar como profesor en CONDUESPOL.

A mi tutor el Ing. Paúl Carrión Mero Ph.D, por su valiosa ayuda y eficiente orientación durante el proceso de elaboración de mi tesis.

Ing. David Matamoros Camposano Ph.D, profesor, amigo; con el cual participé en algunos eventos y por su gran ayuda para el ingreso al programa de maestría en la FCNM.

Ing. Fernando Morante Carballo Ph.D, profesor con el cual participé en momentos de aula y motivador para seguir superándome en mi ámbito profesional.

Ing. Ángel Ramírez Mosquera Ph.D, por su amistad en el ámbito estudiantil.

Ing. Javier Montalván Toala Ph.D, amigo, colaborador en el transcurso de mi tesis.

Ing. José Chang Gómez Ph.D, amigo, profesor, por su amistad sincera en el transcurso estudiantil.

M.Sc. Oswaldo Valle Sánchez (Decano FCNM), amigo por el apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera profesional.

M.Sc. Gloria Elena Tomalá Caicedo, amiga incondicional en la cooperación de datos informáticos.

Ing. Marcela Toalombo Chimborazo, por su colaboración técnica en la realización de mi trabajo.

Ing. Niurka Alvarado Macancela, por su apoyo en la realización de mi tesis.

Ing. Cristian Vinicio Sánchez Padilla, compañero colaborador de campo.

Ing. Carlos Eduardo Campoverde León, compañero en trabajo de GIS.

Ing. Katuska Liliana Solís Briones, compañera en la finalización del trabajo.

Ivonne Kerly Eguiguren Moreno, mi más sincero agradecimiento por la revisión final de mi tesis.

Jessica Elizabeth Sánchez Chicca, por su apoyo moral, incondicional desde: Madrid – España; para la realización y culminación de mi trabajo investigativo.

Srta. Gabriela Beatriz Arámbulo Castro, asistente administrativa del CIPAT-ESPOL.

Sr. Carlos Iván Lazo Luna, colaborador del área de transporte CIPAT-ESPOL.

A la Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN), en especial, a su presidente Don Jhonny Limón y toda su Junta directiva.

A todas las personas que directa o indirectamente, de una u otra manera con toda la buena voluntad, han contribuido para mi formación de postgrado a nivel de maestría.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DECLARACIÓN EXPRESA .....	iii
DECLARACIÓN EXPRESA .....	iii
AUTOR DEL PROYECTO.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRAC.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ABREVIATURAS .....	xvi
SIMBOLOGÍA.....	xvii
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	6
1.4 VARIABLES.....	8
1.4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	8
1.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE .....	8
1.5 HIPÓTESIS.....	9
1.6 OBJETIVOS .....	9
1.6.1 OBJETIVO GENERAL .....	9
CAPÍTULO 2.....	10
BASE TEÓRICA.....	10
2.1 LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	10
2.1.1 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	11
2.1.2 TIPOS DE ACUÍFEROS .....	13
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS.....	15

2.1.4	MÉTODOS DE PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	16
2.1.5	CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA .....	18
2.2	POZOS DE AGUA.....	20
2.2.1	TIPOS DE POZOS.....	20
2.2.2	MÉTODOS DE PERFORACIÓN DE POZOS .....	22
2.2.3	CONSTRUCCIÓN DE UN POZO DE AGUA.....	23
2.3	VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	25
2.3.1	MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: MÉTODO GOD .....	27
	CAPÍTULO 3.....	31
	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	31
3.1	MANGLARALTO .....	31
3.1.1	ESTRATIGRAFÍA.....	32
3.1.2	PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS .....	33
3.1.3	DEMANDA DE AGUA.....	39
3.1.4	GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS Y ALCANTARILLADO.....	40
	CAPÍTULO 4.....	41
	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	41
4.1	METODOLOGÍA GENERAL.....	41
4.1.1	FASE 1: INFORMACIÓN PRELIMINAR.....	41
4.1.2	FASE 2: TRABAJO DE CAMPO .....	42
4.1.3	FASE 3: RESULTADOS .....	43
4.2	TRABAJO DE CAMPO .....	44
	CAPÍTULO 5.....	45
	PROPUESTA DE DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE UN POZO DE AGUA .....	45
5.1	UBICACIÓN DEL POZO DE AGUA.....	45
5.3	CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE AGUA .....	47
5.4	LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL POZO DE AGUA .....	56
5.5	PROTECCIÓN DEL POZO DE AGUA.....	56
	CAPÍTULO 6.....	58
	VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO COSTERO.....	58
6.1	NIVELES ESTÁTICOS DE LOS POZOS DE AGUA .....	58
6.2	PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DE LOS POZOS.....	60

6.3	PROCESAMIENTO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	64
6.4	MAPA DE VULNERABILIDAD .....	65
	CAPÍTULO 7.....	68
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
7.1	CONCLUSIONES.....	68
7.2	RECOMENDACIONES.....	70
	BIBLIOGRAFÍA .....	71
	ANEXOS.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución Vertical de agua en el subsuelo .....	12
Figura 2 Tipos de acuíferos a) Libre b) Confinado c) Semiconfinado .....	14
Figura 3 Pozo perforado en Manglaralto.....	22
Figura 4 Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca.....	30
Figura 5 Zona de estudio.....	31
Figura 6 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2008 .....	34
Figura 7 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2010 .....	35
Figura 8 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2011 .....	36
Figura 9 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2012 .....	37
Figura 10 Precipitación y Temperatura media mensual año 2012 .....	38
Figura 11 Gestión de desechos sólidos .....	40
Figura 12 Porcentaje de utilización de un tipo de servicios higiénicos. ....	40
Figura 13 Esquema Metodológico General.....	42
Figura 14 Toma de datos geofísicos: terrameter SAS 4000 .....	44
Figura 15 Nuevo pozo de agua.....	45
Figura 16 Diseño del pozo.....	46
Figura 17 Exploración del terreno.....	47
Figura 18 SEV .....	49
Figura 19 Perforación por rotación .....	49
Figura 20 Equipo de trabajo .....	50
Figura 21 a) Extensiones b) Balsas de lodo .....	50
Figura 22 a) Inicio de la perforación b) Perforador tricónico .....	51
Figura 23 a) Aplicación de bentonita b) Ajuste de extensiones.....	52
Figura 24 a) Engrasamiento de rulimán b) Tamiz para granulometría.....	53
Figura 25 a) Acoplamiento de mangueras b) Sonda multiparamétrica.....	54
Figura 26 Grava N: 4 .....	54
Figura 27 a) Descenso del tubo en el pozo b) Acopamiento de tubo .....	55
Figura 28 a) Nivelación del tubo b) Unión del tubo .....	55
Figura 29 a) Envío aire con presión b) Succionando agua .....	56
Figura 30 a) Protección del pozo hormigón b) Filtro grava N° 4 .....	57
Figura 31 Toma de niveles .....	60
Figura 32 Curva de campo y parámetros de análisis de la curva .....	64
Figura 33 Mapa de vulnerabilidad del acuífero costero Manglaralto .....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de las variables .....	8
Tabla 2 Contaminación de acuíferos .....	18
Tabla 3 Clases de vulnerabilidad .....	26
Tabla 4 Población aproximada de comunas adscritas .....	39
Tabla 5 Ubicación de pozos de agua en Manglaralto .....	59
Tabla 6 Nivel estático de los pozos de agua datos de profundidad con respecto a la superficie del terreno.....	59
Tabla 7 Nivel estático promedio 2016 .....	60
Tabla 8 Parámetros físicos-químicos: Pozos 4-7, año 2016.....	62
Tabla 9 Parámetros físicos-químicos: Pozos 8-12, año 2016.....	63
Tabla 10 Tabla de resistividades .....	65
Tabla 11 Método GOD.....	66

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Método GOD.....	29
-----------------------------	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos en campo SEV 1 .....	79
Anexo 2. Datos en campo SEV 2 .....	80
Anexo 3. Datos en campo SEV 3 .....	81
Anexo 4. Datos en campo SEV 4 .....	82
Anexo 5. Datos en campo SEV 5 .....	83
Anexo 6. Datos en campo SEV 6 .....	84
Anexo 7. Datos en campo SEV 7 .....	85
Anexo 8. Datos en campo SEV 8 .....	86
Anexo 9. Datos en campo SEV 9 .....	87
Anexo 10. Datos en campo SEV 10 .....	88
Anexo 11. Datos en campo SEV 11 .....	89
Anexo 12. Datos en campo SEV 12 .....	90
Anexo 13. Datos en campo SEV 13 .....	91
Anexo 14. Datos en campo SEV 14 .....	92

Anexo 15. Descripción SEV 1 .....	93
Anexo 16. Descripción SEV 2 .....	94
Anexo 17. Descripción SEV 3 .....	95
Anexo 18. Descripción SEV 4 .....	96
Anexo 19. Descripción SEV 5 .....	97
Anexo 20. Descripción SEV 6 .....	98
Anexo 21. Descripción SEV 7 .....	99
Anexo 22. Descripción SEV 8 .....	100
Anexo 23. Descripción SEV 9 .....	101
Anexo 24. Descripción SEV 10 .....	102
Anexo 25. Descripción SEV 11 .....	103
Anexo 26. Descripción SEV 12 .....	104
Anexo 27. Descripción SEV 13 .....	105
Anexo 28. Descripción SEV 14 .....	106
Anexo 29. Pozo 1- Nivel Estático .....	107
Anexo 30. Pozo 2- Nivel Estático .....	107
Anexo 31. Pozo 3- Nivel Estático .....	108
Anexo 32. Pozo 4- Nivel Estático .....	108
Anexo 33. Pozo 5- Nivel Estático .....	109
Anexo 34. Pozo 6- Nivel Estático .....	109
Anexo 35. Pozo 7- Nivel Estático .....	110
Anexo 36. Pozo 8- Nivel Estático .....	110
Anexo 37. Pozo 9- Nivel Estático .....	111
Anexo 38. Pozo 10- Nivel Estático .....	111
Anexo 39. Pozo 11- Nivel Estático .....	112
Anexo 40. Pozo 12 - Nivel Estático .....	112

## ABREVIATURAS

JAAPMAN	Junta Administradora del Agua Potable Regional Manglaralto
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
CIPAT	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PSE	Península de Santa Elena
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
CMA	Consejo Mundial del Agua
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
CIIFEN	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño
MSP	Ministerio de Salud Pública
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SENAGUA	La Secretaría Nacional del Agua
GADM	Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Manglaralto

## SIMBOLOGÍA

m	metro
mm	milímetro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
K	kilómetro
K <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
°C	grados centígrados
USD	dólares americanos
Ωm	ohmio metro
CA	corriente alterna
CC	corriente continúa
ΔV	variación de voltaje
HP	caballos de fuerza
K	permeabilidad
T	transmisividad
S	sondeo
SEV	sondeo eléctrico vertical
Q	caudal
CE	conductividad eléctrica
I	intensidad de corriente
ρ <sub>a</sub>	resistividad aparente

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

El agua es un recurso necesario e imprescindible en las actividades humanas, desde el uso en los hogares hasta la utilización en todos los sectores productivos de un país, lo que hace de este recurso natural un motor de desarrollo económico y social. En el mundo la distribución del agua no es equitativa, lo que hace necesario una gestión del agua responsable y sostenible a largo plazo; siendo la escasez de agua una de las principales preocupaciones ambientales mundiales (Hoekstra, 2016; Zhou et al., 2016).

Gleick (1996) identifica que el 3% del agua del planeta es dulce, de la cual el 68.7% se encuentra congelada en los casquetes polares, el 30.1% en aguas subterráneas y el 1.2% se encuentran en lagos, ríos, pantanos y en la atmósfera (Citado en U.S. Geological Survey, 2016). Por lo que, las aguas subterráneas son importantes reservas de agua que tiene la humanidad.

“En el 2050, habrá agua suficiente para producir los alimentos para una población mundial que superará los 9.000 millones de personas, pero el consumo excesivo, la degradación de los recursos y el impacto del cambio climático reducirán el suministro de agua en muchas regiones, especialmente los países en desarrollo” (FAO & Consejo Mundial del

Agua-WWC, 2015). En lo que respecta a la salud, el agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, sea para beber, uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos; siendo importantes la mejora en el abastecimiento de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos para el desarrollo de los países (Organización Mundial de la Salud-OMS & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia-UNICEF, 2017).

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL, (2012) en Ecuador, la gestión del recurso hídrico y su administración la realiza la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), institución que ejerce la rectoría para garantizar el acceso justo y equitativo del agua en calidad y cantidad (Secretaría Nacional del Agua-SENAGUA, 2017), en conjunto con otras entidades públicas y privadas que aportan con información sobre la situación de los recursos hídricos, las cuales se enlistan a continuación:

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): Ente responsable de proveer información hidrometeorológica básica para la determinación del recurso agua superficial y subterránea (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI, 2017).
- Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR): Responsable de realizar, dirigir, coordinar y controlar los levantamientos hidrográficos, fluviales, y oceanográficos (Instituto Oceanográfico de la Armada-INOCAR, 2017).
- Comité Nacional para Estudio del Fenómeno de El Niño de Ecuador (Erfen-Ecuador): Monitorea las condiciones océano-atmosféricas y biológico-pesqueras durante la estación lluviosa (Comité Nacional para Estudio del Fenómeno de El Niño de Ecuador (Erfen-Ecuador), 2017).
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN): Centro de Investigación orientado a proveer soluciones innovadoras a los retos impuestos por el clima y el cambio global

(Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño-CIIFEN, 2017).

- Ministerio de Salud Pública (MSP): Colabora con estudios de la calidad y saneamiento del agua (Ministerio de Salud Pública-MSP , 2017).
- Ministerio del Ambiente (MAE): Colabora con estudios de saneamiento del agua (Ministerio del Ambiente-MAE, 2017).

La provincia de Santa Elena está ubicada al oeste del Ecuador, conformada políticamente por los cantones de Santa Elena, La Libertad y Salinas, y estos cantones a su vez están conformada por parroquias. El cantón Santa Elena está integrado por las parroquias rurales de Atahualpa, Colonche, Chanduy, Manglaralto, Simón Bolívar y San José de Ancón; y por las parroquias urbanas de Ballenita y Santa Elena. El cantón Santa Elena comprende 60 comunas y 137 recintos, quienes toman decisiones de manera autónoma y están regidas por una Organización Comunal, que es la encargada de distribuir las diversas actividades que deben realizar los diferentes grupos específicos de trabajo, entre ella las Juntas de Agua (Centro del Agua y Desarrollo Sustentable (CADS-ESPOL), 2013).

Las personas naturales o jurídicas que residen en una localidad, donde el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) correspondiente no preste los servicios de agua potable, podrán solicitar la conformación y legalización de una Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento (JAAPyS) o una Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional (JAAPySR). Las Juntas de Agua son organizaciones comunitarias, sin fines de lucro que tienen la finalidad de prestar el servicio público de agua potable y saneamiento. Su accionar se fundamenta en criterios de equidad, solidaridad, interculturalidad, eficiencia económica, sostenibilidad de recurso hídrico, calidad en la prestación de los servicios y en el reparto del agua (Secretaría del Agua, 2016).

La parroquia rural Manglaralto está constituida por 18 comunas: La Entrada, San Francisco de las Núñez, San José, Curia, Olón, Montañita, Dos Mangas, Manglaralto, Pajiza, Río Chico, Cadeate, San Antonio, Libertador Bolívar, Sitio Nuevo, Valdivia, San Pedro, Sinchal y Barcelona; todas ellas distribuidas en tres Juntas de Agua legalizadas: Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN) legalizada en 1979, Junta Administradora de Agua Potable Regional Olón legalizada en 1982 y la Junta Administradora de Agua Potable Regional Valdivia legalizada en 1987, que obtienen agua de los acuíferos costeros de los ríos Manglaralto, Olón y Valdivia, respectivamente; y 3 juntas de agua no legalizadas, quienes proporcionan agua a las comunidades que no son satisfechas por las juntas anteriores, como lo son: la Junta de Agua de Pajiza, Junta de Agua de Dos Mangas y Junta de Agua de Sitio Nuevo (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Manglaralto, 2011, 2015; Herrera, 2016).

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La disponibilidad de recursos de agua dulce es un desafío para muchas comunidades, convirtiéndose en un bien escaso que limita el desarrollo social y económico de comunidades (GRID-Arendal et al. 2010; Setegn et al. 2014). En la actualidad, hay 2.500 millones de personas que dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas en el mundo. Además, se estima que el 20% de los acuíferos mundiales están siendo sobreexplotados; reduciéndose las reservas de agua dulce (United Nations World Water Assessment Programme, 2015).

Cerca de una quinta parte de la población mundial (1200 millones de personas) habitan en áreas que enfrentan escasez de agua y alrededor de 1600 millones de personas cuentan con insuficiente infraestructura

para transportar el agua desde ríos y acuíferos a las comunidades (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD, 2006). El grave problema de la escasez del agua puede empeorar por causa del cambio climático, la acelerada urbanización, el ritmo del desarrollo económico y el aumento de las actividades agrícolas; siendo la agricultura responsable del 70% de las extracciones de agua dulce y de más del 90% de su uso consuntivo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, 2013).

Uno de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas considera prioritario "Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos" (General Assembly, 2015). Sin embargo, aún existen comunidades rurales en Latinoamérica con dificultad en el acceso al agua, donde el agua es suministrada total o parcialmente por aguas subterráneas (Domínguez et al., 2016), como es el caso de la parroquia rural Manglaralto ubicada en la Península de Santa Elena, donde se tiene una precipitación media anual de 255 mm y valores altos de evapotranspiración potencial (1000-1200 mm/año); por lo que es considerada como una zona de clima semiárido (Herrera, 2016).

La parroquia rural Manglaralto se abastece de agua proveniente al acuífero costero Manglaralto. Sin embargo, el acuífero se encuentra en peligro de agotamiento debido la sobreexplotación y a la escasez de lluvias, ocasionando descensos en el nivel freático de los pozos de donde se extrae el agua y la salinización del agua, amenazando la calidad y disponibilidad de agua para consumo humano. Otros factores que han influenciado en la sobreexplotación del acuífero costero son el aumento de la demanda de agua de 1.179,30% durante el período 2005-2015, el incremento del 80,85% en la construcción de áreas urbanizadas para vivienda y actividades turísticas durante el período 2006-2013, el aumento

de alojamientos turísticos en 1.775,00% durante el período 2006-2014 y el avance de la frontera agrícola (Herrera, 2016).

El déficit de agua no solo limita el desarrollo como ser humano en el hogar, a su vez este inconveniente se ve reflejado en el desarrollo cultural de las comunas. Actualmente, el turismo dentro de la península ha aumentado requiriendo disponer del agua las 24 horas del día, sin embargo inconvenientes como la escasez del agua y el daño de tuberías han disminuido la cantidad distribuida a las comunas buscando como solución la entrega temporal de agua potable mediante tanqueros. (Herrera, 2012)

El 20 de noviembre del 2015 fue declarada crisis hídrica en Manglaralto, los pozos se estaban secando por escasez de lluvias concretando como solución el suspender el sistema de bombeo por la presencia de sedimentos. Sin embargo, la población está sufriendo la falta de líquido vital y los pobladores se manifestaron para reclamar por la falta de agua en sus sectores cerrando las vías de acceso a Manglaralto (Del Pezo, 2015; Rosales Ortega, 2015).

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El recurso agua es un símbolo motriz, que permite a los grupos y asociaciones humanas desarrollar proyectos de sus vidas. En el transcurso de la historia se ha considerado que el agua es el líquido vital que hace posible que haya vida y desarrollo alrededor de este recurso. Tal es así, que los asentamientos humanos buscan el líquido vital y ahí en ese entorno fundan sus viviendas, pueblos y empiezan a desarrollar vida (Arias, 2011; Herrera & Flores, 2011).

El saneamiento deficiente desencadena la transmisión de enfermedades, como la diarrea, dada la gestión inadecuada de las aguas residuales

urbanas, industriales y agrícolas. Casi 2 mil millones de personas utilizan agua potable con materia fecal, provocando la muerte de 502.000 personas por diarrea al año (Organización Mundial de la Salud-OMS & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia-UNICEF, 2017). Por tanto, es de vital importancia establecer herramientas que permitan a las comunidades acceder al conocimiento científico que incidan en su desarrollo sostenible en lo que a gestión del agua se refiere (Herrera, 2012).

La provincia de Santa Elena tiene una población estimada de 375.646 para el año 2017 donde el 44.82% habita en áreas rurales según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010). La zona de estudio comprende la parroquia rural Manglaralto de la provincia de Santa Elena, donde la Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN) gestiona el acuífero costero Manglaralto y abastece de agua a 23.586 personas, entre habitantes locales y población flotante. (Herrera, 2016).

La gestión del agua de Manglaralto ha sido destacada como ejemplo mundial en el Foro Científico del Agua "Water Matters" en Viena en septiembre de 2011, donde Yukiya Amano, Director del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) calificó el proyecto de Ecuador de óptimos resultados; dado el trabajo colaborativo entre la junta de agua, población, universidad y organización internacional (Macneill 2011).

Sin embargo, dado el cambio climático y diferentes factores antes mencionados, el acuífero está en peligro de agotamiento; siendo el acuífero costero Manglaralto la única fuente de agua para las comunidades rurales de Montañita, Cadeate, Libertador Bolívar, Río Chico, San Antonio y la cabecera parroquial Manglaralto. Por lo que, es necesario encontrar medidas para la sostenibilidad del recurso;

considerando que la población necesita de agua diariamente para los quehaceres individuales en sus hogares y es un recurso fundamental para el desarrollo de las actividades económicas, donde se destaca el turismo (Herrera 2016).

Es de gran importancia construir pozos de agua, por la demanda turística, crecimiento demográfico, ingresos económicos para los habitantes del sector y mejor la calidad de vida. El desafío es seguir conservando el recurso natural, situación difícil si no se toman medidas urgentes.

## **1.4 VARIABLES**

### **1.4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES**

Variable X: Diseño, construcción, acondicionamiento de un pozo de agua, mediante toma de niveles, estudios geológicos, geofísicos, análisis hidrogeológicos.

### **1.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Variables Y: análisis de la vulnerabilidad del acuífero costero de Manglaralto.

<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>LINEAMIENTOS DE INDICADORES</b>
Propuesta de diseño, construcción y acondicionamiento de un pozo de agua, mediante métodos geofísicos, toma de niveles, análisis hidrogeológico, lo cual PERMITIRA la elaboración del mapa de vulnerabilidad del acuífero costero de Manglaralto.	Variable X: Diseño, construcción, acondicionamiento, toma de niveles, estudios geológicos, geofísicos, análisis hidrogeológicos.  Variables Y: mapa de la vulnerabilidad por el método de god del acuífero costero de Manglaralto.	X1: Correlación de datos geológicos y datos geofísicos.  X2: 14 Sondeos eléctricos verticales.  X3: Indicadores de capas con estratos favorables para la obtención de agua.  Y1 Mapa de vulnerabilidad.

**Tabla 1 Operacionalización de las variables**  
**Fuente: Autor**

## **1.5 HIPÓTESIS**

La propuesta de diseño, construcción y acondicionamiento de un pozo de agua conjuntamente con datos geofísicos, toma de niveles estáticos, análisis hidrogeológicos del acuífero: permitirá obtener un mapa de vulnerabilidad, respondiendo a la crisis hídrica de Manglaralto.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una propuesta de diseño, construcción y acondicionamiento de un pozo de agua, mediante el análisis de los niveles de agua en los pozos, trabajos geofísicos y revisión de la información hidrogeológica existente para la configuración de un mapa de vulnerabilidad de la zona a través del método GOD, que brinde respuestas a la crisis hídrica.

### **1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Medir el espesor, la profundidad y la resistividad de las capas del subsuelo mediante sondeos eléctricos verticales (SEV) con el fin de clasificar los sedimentos por los cuales se encuentra formado Manglaralto.
- Describir la propuesta de construcción del pozo de agua # 11 en Manglaralto, mediante etapas de diseño, perforación, limpieza, acondicionamiento y protección del pozo, con el fin de satisfacer la creciente demanda de agua de las comunidades rurales en Manglaralto.
- Medir la evolución temporal de los niveles estáticos de los pozos mediante medidas in situ para caracterizar la situación actual del recurso hídrico en Manglaralto.
- Elaborar un mapa de vulnerabilidad del acuífero costero Manglaralto a partir de la información disponible, utilizando el método GOD para la configuración de zonas estratégicas en el acuífero.

## **CAPÍTULO 2**

### **BASE TEÓRICA**

#### **2.1 LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Las aguas subterráneas se encuentran bajo la tierra y son producto de acumulación de la precipitación e infiltración de la lluvia y del agua arrastrada por los ríos; su recorrido llega hasta encontrar una zona impermeable y de almacenamiento sirviendo como fuente de agua potable para el desarrollo de los habitantes del sector (Davis & De Wiest, 1966). La existencia del agua subterránea depende de la litología, espesores y estructura de los materiales que forman la tierra; mientras que el movimiento y la capacidad de almacenamiento son controlados por la permeabilidad y la porosidad (Vélez, 1999).

El agua subterránea siempre se mueve por la fuerza de la gravedad de las áreas de recarga a las áreas de descarga e interactúa con las aguas superficiales en tres maneras básicas: las aguas superficiales ganan agua procedente de la entrada de agua subterránea, se pierde aguas subterráneas por la salida de agua a través de las aguas superficiales y ambas a la vez (Winter et al., 1998). La mayoría de los espacios vacíos de las rocas debajo de la capa freática están llenos de agua; donde las rocas acuíferas transmiten fácilmente agua a pozos o manantiales, se les llama acuíferos. El agua subterránea puede pasar de un acuífero a otro, aunque generalmente sigue las vías más permeables dentro de los acuíferos individuales desde el punto de recarga (Waller, 1982).

Un acuífero se puede definir como una unidad litológica que contiene agua en cantidades apreciables y que además la deja circular. Según Vélez (1999) pueden presentarse en cuatro distintas formaciones geológicas:

- a) Depósitos de gravas y arenas no consolidadas, intercalados frecuentemente con estratos de limos y arcillas, con pocas unidades de carbonatos.
- b) Formaciones consolidadas y semiconsolidadas de conglomerados y areniscas, que tienen permeabilidad y porosidades primarias (intergranulares) y secundarias (fracturas y diaclasas).
- c) Formaciones carbonatadas que tienen fisuras y fracturas, que pueden ensancharse por disolución. Tienen porosidades y permeabilidades primarias muy pequeñas.
- d) Rocas ígneas y metamórficas con fisuras y fracturas que permiten el almacenamiento y circulación del agua.

### **2.1.1 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Las aguas infiltradas pueden permanecer en el subsuelo más o menos tiempo, alcanzar diferentes profundidades y estar sometidas a muy diferentes condiciones. Martín et al. (2006) grafican la distribución vertical de las aguas subterráneas en la figura 1.



Figura 1 Distribución Vertical de agua en el subsuelo  
Fuente: Martín et al, 2006

Zona de aireación: dentro de esta zona no todos los pozos se encuentran llenos de agua, a su vez el aire se encuentra presente en su interior; es el estrato superior que se extiende desde la superficie del terreno hasta el nivel freático. Esta zona se divide en tres franjas: subzona de evapotranspiración, subzona intermedia y franja capilar.

- Subzona de evapotranspiración: Superficial caracterizada porque una parte de las aguas infiltradas quedará retenida y adherida por fuerzas capilares al terreno, formando la humedad del suelo
- Subzona intermedia: Agua se mueve por gravedad hacia las zonas inferiores (percolación).

- Franja capilar: Está en contacto con la zona saturada. El agua de la franja capilar al estar sometida a fuerzas capilares no fluye en general.

Zona saturada: Su límite superior viene marcado por el nivel freático, y el inferior por los materiales impermeables a partir de los cuales se ha acumulado el agua. El agua de la zona saturada sí fluye al ser agua gravífica.

Nivel freático: Es el nivel a partir del cual los materiales se encuentran totalmente saturados de agua. Su profundidad es variable en función de las condiciones climáticas (Martín et al., 2006).

## **2.1.2 TIPOS DE ACUÍFEROS**

Según Vélez (1999) y Bellino (2012) existen varios tipos de acuíferos, según su estructura y comportamiento hidráulico como se observa en la figura 2:

Libre o no confinado: Su límite superior es la zona de saturación. Presentan una superficie libre de agua que está en contacto directo con la atmósfera. Un pozo construido para explotar un acuífero de este tipo se denomina freático. El nivel de agua dentro del pozo coincide con el nivel de agua dentro del acuífero.

Confinado, cautivo o artesiano: El agua se encuentra confinada bajo una presión mayor que la atmosférica. Se encuentran limitados por estratos impermeables. La formación se encuentra completamente saturada, no existe una superficie libre del agua, pero si existe una superficie piezométrica la cual es una superficie imaginaria que coincide con el nivel hidrostático del agua en el acuífero.

Semiconfinado: Se encuentran limitados por estratos de baja permeabilidad. Son en general artesianos. Se encuentran completamente

saturados de agua y están limitados ya sea por su base o por el techo, o ambos.

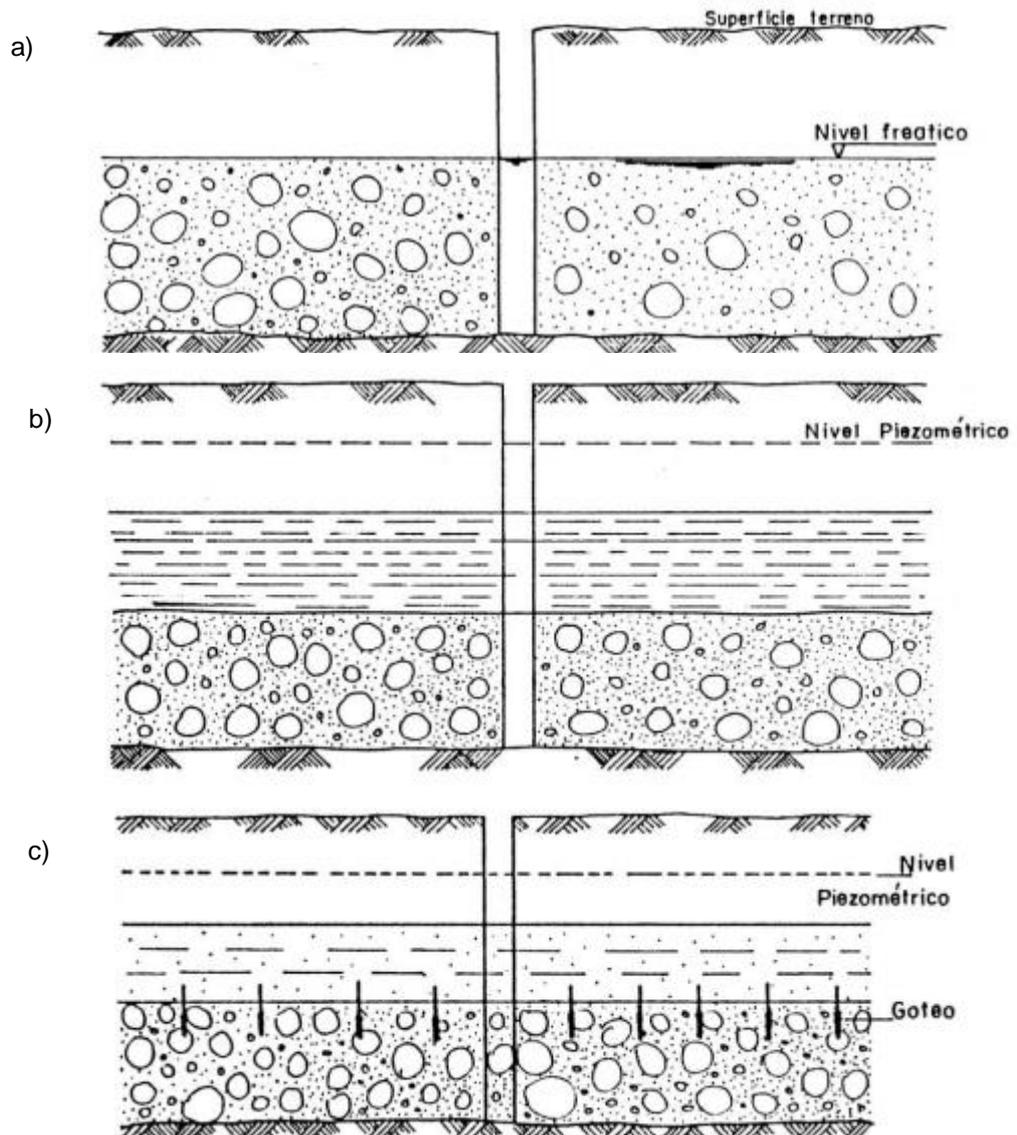


Figura 2 Tipos de acuíferos a) Libre b) Confinado c) Semiconfinado  
Fuente: Vélez, 1999

Según la movilidad del agua:

Acuífero: Formaciones geológicas que almacenan el agua y que a su vez permiten el movimiento de la misma, bajo la acción de las fuerzas de la gravedad, de tal forma que puede ser explotada en cantidades relativamente apreciables.

Acuicludo: Formaciones que almacenan el agua, a veces en proporciones altas, pero que no la transmiten en cantidades apreciables.

Acuitardo: Formaciones que almacenan el agua pero que sólo permiten el flujo de la misma en forma muy lenta, en comparación con los acuíferos. Pueden transmitir grandes cantidades de agua a pesar de la baja velocidad de flujo y permiten el paso de agua de un acuífero a otro cuando éstos se encuentran separados por un acuitardo.

Acuífugo: Formaciones impermeables que no almacenan ni transmiten el agua.

Según la litología:

Detritos: Sedimentos de las rocas que se generan por acción de la diagénesis, la meteorización o la erosión.

Carbonatados: Rocas sedimentarias compuestas principalmente por minerales de carbonato cálcico o de otros carbonatos.

Según la textura:

Poroso: El agua se empapa como en una esponja dentro de poros interconectados entre sí. Por ejemplo, aquellos donde hay arena y grava.

Fisurado o krastificado: El agua está en grietas o juntas interconectadas, pero el agua se comporta heterogéneamente.

Según la ubicación:

Costero: Se encuentran en las zonas litorales o costeras en contacto hidráulico con el mar.

Continental o interior: No tienen ningún contacto con el agua de mar.

### **2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS**

Según Ordoñez (2011) la propiedad de los acuíferos de contener agua, está gobernada por varios factores: Porosidad, Permeabilidad,

Transmisibilidad Específica y Coeficiente de Almacenamiento; características que permiten evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional, detallados a continuación:

Porosidad (n): Conjunto de aberturas o intersticios de las rocas.

Permeabilidad (K): Propiedad de las rocas de permitir o no el flujo del agua. Estrato geológico que siendo poroso puede contener agua.

Transmisibilidad o Transmisividad (T): Medida de la capacidad de un acuífero para conducir agua o transmitir agua. Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo.

Coeficiente de Almacenamiento (S): Volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico. Agua liberada al disminuir la presión en el acuífero, en el caso de acuíferos confinados y semiconfinados.

## **2.1.4 MÉTODOS DE PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

La prospección de aguas subterráneas es el conjunto de trabajos de investigación que permiten la localización de acuíferos o embalses subterráneos. El agua subterránea es un recurso escondido, que difícilmente se puede observar. Por lo que, existen programas de exploración dirigidos no sólo a encontrar agua, sino también, a obtener estimativos confiables sobre la cantidad y calidad del recurso (Vélez, 1999). Los principales métodos de prospección de las aguas subterráneas son los métodos geológicos y geofísicos, detallados a continuación según Gil Montes (2008):

Método geológico: A través de la cartografía geológica de la zona se identifica la naturaleza litológica de los diferentes afloramientos rocosos: características estratigráficas y estructurales. El mapa geológico es útil para la identificación de las formaciones rocosas permeables y de las

impermeables, límites, principales unidades hidrogeológicas, fracturas principales, zonas de recarga y descarga hidrológica, etc. Los perfiles y cortes geológicos son útiles para adquirir una visión adecuada de la geometría de los acuíferos, su espesor y situación del nivel piezométrico. Las fotografías aéreas son útiles como instrumento para la cartografía geológica porque pone de relieve aspectos difíciles de ver sobre el propio terreno, tales como: Grandes fracturas, zonas de drenaje, la red fluvial, etc.

Método geofísico: Los métodos geofísicos son actualmente los más utilizados para la búsqueda de agua subterránea, donde se destacan:

- El método eléctrico mide la variación de la resistividad de las diferentes rocas con la profundidad. A efectos hidrogeológicos, una baja o nula porosidad de las rocas se manifiesta por una elevada resistividad. Así mismo, si la roca se encuentra sobre el nivel freático, o no contiene agua, su resistividad será también elevada. Pero si la resistividad es muy baja, el agua almacenada tendrá un elevado contenido en sales, o las rocas son arcillosas e impermeables.
- El método gravimétrico estudia las anomalías de la gravedad en la superficie terrestre a fin de deducir zonas muy compactas e impermeables. Es útil para determinar la existencia de fallas importantes o de grandes cavidades kársticas saturadas de agua.
- El método electromagnético estudia la influencia del terreno sobre un campo electromagnético artificial.

Los métodos de mediciones de la resistividad eléctrica son los más utilizados por su fácil instalación en el terreno, se encargan de estudiar las características geotécnicas del terreno cuando se propagan a través de corrientes eléctricas continuas midiendo el parámetro físico de la resistividad, el cual es una propiedad intrínseca de las rocas. Un sondeo eléctrico vertical (SEV) es la técnica más utilizada para la búsqueda de agua subterránea, la cual consiste en separar sucesivamente los

electrodos A y B del punto central, siguiendo una línea recta. La resistividad que se obtiene no corresponde a una litología concreta, sino que definen al conjunto de materiales afectados por el paso de corriente. Los electrodos son los encargados del paso de la corriente hacia las profundidades del subsuelo, las zonas a estudiar no siempre son planas; sin embargo se busca adaptar el equipo al terreno deseado, logrando una homogeneidad en los desplazamientos horizontales (Auge, 2008).

## **2.1.5 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

La contaminación del agua subterránea es producto de la infiltración del agua que se encuentra en superficie, llevando consigo contaminantes que se hallan sobre el suelo. Otro tipo de factores que afectan el agua subterránea son los vertederos de residuos industriales, basuras, tuberías, abonos y todo aquello que quede fijado en el suelo al no ser absorbido por las plantas o ser recogido por los seres vivos (Martín et al., 2006), como se detallan en la tabla 1.

<b>Vías de contaminación</b>	<b>Actividades contaminantes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Infiltración de sustancias depositadas en superficie, o de la lluvia a través de ellas.</li><li>• Filtración de sustancias almacenadas bajo tierra, o disolución de ellas por el agua subterráneas.</li><li>• Filtración desde un río influente.</li><li>• Derrames o rezumes accidentales de depósitos o conducciones, superficiales o enterrados.</li><li>• A través de captaciones abandonadas (desde la superficie).</li><li>• Desde otro acuífero (a través de las captaciones).</li><li>• Inyección en pozos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Depósito de residuos sólidos urbanos.</li><li>• Vertidos de aguas residuales.</li><li>• Actividades agrícolas, ganaderas, industriales, mineras y nucleares</li></ul>

**Tabla 2 Contaminación de acuíferos**

Fuente: Hispagua-Sistema Español de Información sobre el Agua, 2017

Durante los últimos años se han realizado múltiples investigaciones que han permitido recuperar los suelos contaminados utilizando diversos métodos que sirven para descontaminar el agua subterránea. Bellido (2004) detalla algunos de los tratamientos físicos, químicos, biológicos e in situ utilizados:

Filtración: La filtración elimina los sólidos en suspensión del agua subterránea.

Absorción: La absorción de contaminantes es el método más utilizado donde la aplicación del Carbono Activado Granular (GAC), es el material más utilizado para atrapar los contaminantes de la estructura física de los poros del carbono.

Neutralización: La neutralización es un tratamiento químico que se encarga de realizar el ajuste del pH aplicando un ácido en la solución mediante equipos de tratamientos.

Precipitación química: La precipitación resulta de la adición de una sustancia química que reacciona con el contaminante en solución para formar un compuesto insoluble.

Lodos activados: Las bacterias presentes son capaces de degradar biológicamente los contaminantes orgánicos a material celular, dióxido de carbono y agua.

Almacenamientos superficiales: Son lagunas poco profundas o balsas con una población microbiana en suspensión, en concentraciones mucho más bajas que en los sistemas de lodos activados.

Inmovilización: Precipitación, quelatación y polimerización son tres métodos utilizados para inmovilizar un contaminante de forma que se prevenga su migración fuera del área contaminada.

Movilización para extracción: La lixiviación de suelos es un proceso que consiste en inundar el área contaminada con agua o un disolvente para movilizar el contaminante, seguido de la recogida del lixiviado. Se utiliza cuando el contaminante es fácilmente soluble.

## **2.2 POZOS DE AGUA**

Los pozos se pueden perforar en los acuíferos y el agua puede ser bombeada hacia fuera. La precipitación eventualmente agrega agua (recarga) a la roca porosa del acuífero. Sin embargo, la tasa de recarga no es la misma para todos los acuíferos, y esto debe tenerse en cuenta al bombear agua de un pozo. El bombeo de demasiada agua, hace que un pozo produzca menos agua e incluso se corre el riesgo de secarse (Waller, 1982).

Los pozos son pequeños depósitos a los cuales migra el agua subterránea proveniente de la precipitación e infiltración en el subsuelo, la misma que puede bombearse hasta llegar a la superficie. Es el método de almacenamiento más útil e importante para la obtención de agua, utilizada por muchos países en desarrollo.

### **2.2.1 TIPOS DE POZOS**

Según Waller (1982), Bellido (2004) y Tapia (2008), los pozos se clasifican según el tipo de construcción en:

Pozo excavado (Noria o Pozo Somero): Son de poca profundidad y el nivel freático se encuentra cerca de la superficie, por lo cual se utilizan herramientas manuales como picos y palas, siendo la técnica más sencilla, antigua y menos costosa, estos pozos son recubiertos por una capa de piedra para prevenir que se colapsen. La desventaja con este tipo de pozo es que su profundidad es de aproximadamente 6 a 8 metros dependiendo de las características del suelo de estudio, el agua dispuesta en el acuífero se obtendrá de las capas acuíferas superiores donde la capa freática no sea profunda; a su vez son muy susceptibles al estar

expuesto con mayor cercanía a la superficie; los contaminantes pueden ser transportados por el viento.

Pozo taladrado o barrenado: Son aquellos pozos cuya construcción se puede realizar manualmente o pueden ser impulsados por una fuerza motriz. La excavación se realiza mediante barras sucesivas a las cuales se les anexa en la parte inferior un recipiente con cuchillas en su cabeza las mismas que se harán rotar y se irán enterrando en el subsuelo hasta que esté lleno totalmente de material; luego es llevado a la superficie para retirar el material enrollado en el tornillo. Se le instala en el fondo del pozo una bomba que permita el recorrido del agua hacia la superficie, tienen una profundidad de más de 300 m. Los sedimentos glaciales y los depósitos aluviales son las formaciones más apropiadas para utilizar este método.

Pozo a chorro: La excavación del pozo se hace mediante un chorro de agua a alta presión y velocidad la misma que impactará con la superficie; logrando que el material se afloje y el flujo de agua ascienda como transporte de los sedimentos haciendo desbordar fuera del hueco. Este método requiere de maquinarias especiales que permitan el flujo de agua a grandes presiones y velocidades.

Pozo clavado: Este pozo tiene un promedio de 9 m. a 15 m., son de pequeño diámetro y se construye clavando una rejilla con punta en el terreno junto a lo cual se van agregando tubos a manera de rosca. Materiales como la arcilla y las arenas finas saturadas presentan resistencia debido a su gran dureza por lo cual para este tipo de sedimentos este sistema no resulta recomendable. Es un pozo relativamente poco profundo.

Pozo perforado: Se extiende de 30 m. a 120 m., la excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación dejando el material libre hueco para ser extraído mediante presión hidráulica con un achicador, como se observa en la figura 3.



**Figura 3 Pozo perforado en Manglaralto**  
Fuente: Autor

## **2.2.2 MÉTODOS DE PERFORACIÓN DE POZOS**

Una perforación es un hueco que se hace en la tierra atravesando diferentes estratos, entre los que puede haber unos acuíferos y otros no acuíferos, para lo cual se deben de realizar varios estudios que definan el área de interés para la extracción de agua. Al estar la tierra formada por diversos estratos, los estudios definirán el tipo de perforación a la cual debe ser expuesto el terreno, según el material que se definió durante los sondeos eléctricos verticales. Existen métodos mecanizados y manuales para perforar pozos, pero todos se basan en dos modalidades: percusión y rotación según Bellido (2004) y Bellino (2012):

Perforación por percusión: Este método de perforación utiliza un hierro pesado en forma de pera el cual golpea el suelo y va fracturando y disgregando la roca, su movimiento es continuo y los pequeños fragmentos se mezclan con cierta cantidad de agua proveniente del

mismo pozo, dicho material es llevado a la superficie mediante baldes de tubo o cucharas.

Perforación por rotación: La rotación es la principal característica de este tipo de perforación, su trabajo es rotar la broca la misma que irá cortando los distintos materiales que estén formando el subsuelo. El lodo de perforación retira el material disgregado en profundidad llevándolo hacia la superficie del terreno y evita el calentamiento de las herramientas durante el trabajo de campo. El material por el que está formada la barra giratoria es de acero de alta dureza; este pasa por el centro de la mesa rotatoria brindándole la fuerza necesaria para girar. El accionamiento de los controles activados dentro de la barra es manejado por el perforador y consigo su acción de subir o bajar puede ser controlado.

Perforación por rotopercusión: Consiste en un movimiento de rotación continua combinado con la percusión periódica en forma de pulsos del trépano. El trépano ocupado (martillo de fondo) gira entre 10° y 20° entre golpe y golpe. Este método a modo general es ideal para el trabajo en roca o formaciones detríticas altamente cohesionadas, no así en terrenos arenosos y arcillas blandas.

### **2.2.3 CONSTRUCCIÓN DE UN POZO DE AGUA**

La primera fase a realizar antes de una perforación es la exploración del terreno, en la cual se realizan todos los estudios previos que verifiquen la presencia de agua en el subsuelo así como la profundidad de la capa permeable, el tipo de roca y la calidad de agua a obtener. Además, de estudios detallados del tipo de perforación, el área de trabajo, la profundidad de las capas del subsuelo y sus características, como los niveles estáticos y piezométricos.

Según Bellido (2004) la información que debe ser estudiada antes de la perforación es la siguiente:

- Información de proyectos anteriores en la localidad de estudio
- Mapas geológicos
- Características superficiales de la zona
- Estudios de Resistividad Eléctrica
- Fuentes contaminantes

El montaje del equipo es la fase que inicia de la ubicación del pozo, en donde se verifican los equipos a utilizar en el campo para la perforación e instalación de la torre de perforación y se conectan las bombas de lodo. Justo en el sitio indicado según los estudios en campo, se hace caer libremente el primer tubo de la barra de perforación preparando el hoyo en seco y la verticalidad del pozo. La tercera fase consiste en el lavado del pozo, llenándolo de agua e introduciendo la barra con la broca la misma que girará y se levantará arrancando y llevando consigo los restos del material.

El agua utilizada en la perforación depende del tipo de material que se haya localizado en las profundidades del terreno. Para perforar en suelos arenosos el agua utilizable en la perforación debe ser densa y libre de restos orgánicos que taponen el pozo. A través de la barra de perforación se inyectará agua limpia para sacar el agua densa de las profundidades hasta obtener claridad en el agua para luego proceder a sacar los tubos de la barra de perforación. Se escuchará a través de la barra metálica un raspado áspero producto de la broca sobre la gruesa arena que contendrá agua en sus poros indicando que se ha logrado llegar al acuífero. Por último se debe penetrar un mínimo de 5 m en el acuífero encontrado para terminar la perforación.

El entubamiento del pozo se realiza concluida la perforación, se cortan con la sierra los costados de la ranura de penetración que será la puerta para el paso del agua desde el acuífero hacia el pozo, la sierra utilizada debe ser ancha, aumentando el área de filtración. En la parte inferior del tubo del filtro lleva consigo un tapón en punta que facilitará la introducción en el pozo, se colocará una manga de tela poliéster evitando que la arena penetre dentro del pozo, el filtro será empujado con fuerza y llenado con agua para reducir el empuje.

Para la limpieza del pozo se conectará la bomba manual al tubo del pozo a través del cual se inyectan 150 litros de agua limpia, dejando fluir hacia la superficie el agua por el filtro. Alrededor del tubo se colocará la arena gruesa revistiendo el espacio entre el tubo-filtro y la pared del pozo. Dentro del pozo se introducirá una manguera aspiradora o también conocido como un tubo de polietileno de  $\frac{1}{2}$ " o  $\frac{3}{4}$ " el mismo que llegará hasta la profundidad del pozo. Se rellena con arena grava la misma que baja y se acomoda alrededor del filtro en un transcurso de 5 horas, se introduce una manguera de 5 metros con unos movimientos ascendente y descendente en un tramo de 50 cm. Se bombea 500 litros hasta obtener el agua bastante limpia. (Bellido, 2004).

### **2.3 VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

La calidad del agua es de suma importancia a la hora de abastecer a la población mediante un pozo, por lo cual los parámetros de contaminación deben ser estudiados. Las aguas subterráneas son un recurso de gran valor estratégico para aquellas regiones donde la obtención del líquido mediante el pozo es la única fuente natural de suministro. Por lo que, el ser humano es el encargado de reducir la vulnerabilidad con el único propósito de proteger un acuífero y a fin de disminuir las fases de reconstrucción o recuperación de un pozo.

Margat (1968) introdujo el término “vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación”. La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación es una propiedad intrínseca del medio natural (suelo, clima y acuífero) que determina la sensibilidad a ser afectados negativamente por un contaminante externo. Según Carbonell (1993) la vulnerabilidad a la contaminación es la tendencia de los contaminantes a localizarse en el sistema de agua subterránea, luego de ser introducidos por encima del acuífero más somero.

“La evaluación de la vulnerabilidad es un proceso en el cual se combina la valoración de muchas características del sistema acuífero para producir un mapa en el que se diferencian áreas de mayor y menor vulnerabilidad” (Rueda & Betancur, 2006). Foster et al. (2002) definen cinco clases de vulnerabilidad, las cuales se describen en la tabla 3.

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>
Vulnerabilidad extrema	El acuífero es vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido
Vulnerabilidad alta	El acuífero es vulnerable a muchos contaminantes excepto a los que son frecuentemente absorbidos o fácilmente transformados
Vulnerabilidad media o moderada	El acuífero es vulnerable a contaminantes que son continuamente descargados o lixiviados
Vulnerabilidad baja	El acuífero es vulnerable solo a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo
Vulnerabilidad despreciable	El acuífero es vulnerable a la percolación, pero es insignificante

**Tabla 3 Clases de vulnerabilidad**  
Fuente: Foster et al., 2002; Rueda & Betancur, 2006

Los factores que inciden en la vulnerabilidad de un pozo depende de la antigüedad del mismo, sin embargo el tipo de perforación realizada es un factor importante al momento de analizar la protección. La profundidad del pozo debe ser estudiada debido a que al encontrarse la capa de interés próxima al suelo tiene mayores probabilidades de ser contaminada. Los pozos deben ser ubicados lejos de los sistemas domésticos evitando la conexión con los pozos disminuyendo de esta manera la contaminación por los desechos caseros (Subsecretaría de Agua potable y saneamiento básico, 2003).

En los acuíferos costeros la intrusión salina es un tema relevante, donde los procesos contaminantes pueden afectar la salubridad de las aguas subterráneas resultando ser un gran problema para los habitantes que reciben el líquido diariamente. Por otro lado, la amenaza más seria en la contaminación de un acuífero se deriva de la agricultura debido a la descarga de contaminantes como producto de las prácticas agrícolas junto con el manejo de productos agroquímicos. Hay varias formas de contaminación del acuífero, puede ser mediante la infiltración, pérdidas de masas de agua, inyecciones en sondeos, intrusión de agua salina, entre otros (Hispagua-Sistema Español de Información sobre el Agua, 2017).

### **2.3.1 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: MÉTODO GOD**

Varios métodos son aplicados al momento de analizar la vulnerabilidad de aguas subterráneas para lo cual se debe estudiar las características intrínsecas del medio. Los métodos más utilizados en el estudio de la vulnerabilidad son: DRASTIC, SINTACS, GOD, EPIK, EK<sub>v</sub>, AVI, BGR, Lixiviación de pesticidas. Se ha elegido el método GOD debido a que este método es considerado como el primer paso para el análisis de

vulnerabilidad de aguas subterráneas; es sistemático y determina la vulnerabilidad intrínseca, considerando la penetración de todos los tipos de contaminantes que afectan directamente a las aguas subterráneas (Díaz et al., 2009).

El Método GOD: Determina el grado de confinamiento hidráulico de aguas subterráneas, Estratos superpuestos, la profundidad a la capa freática. Fue desarrollado por Foster en 1987. Los parámetros a considerar para aplicación de este método son los siguientes según la ecuación por Belmonte et al. (2000) y Díaz et al. (2009):

**Ecuación 1. Método GOD**

$$Vulnerabilidad = G * O * D$$

*Fuente: Foster, 1987*

*Parámetros:*

*G=Ocurrencia del agua subterránea, evalúa el tipo de acuífero (libre, confinado, etc.).*

*O=Sustrato litológico, en éste se agrupan los materiales consolidados y los no consolidados que forman parte del acuífero.*

*D=Distancia al agua subterránea, nivel de agua en los acuíferos.*

Ocurrencia del agua subterránea: Tipo de acuífero o modo de confinamiento, su índice puede variar entre 0 y 1, comprendido entre la ausencia de acuífero como índice 0 y la presencia del acuífero libre o freático como índice 1.

Sustrato litológico: Estudio del sustrato litológico considerando el grado de consolidación y sus características litológicas junto con la porosidad, permeabilidad y retención de la humedad, índices entre 0,4 indican materiales no consolidados y valores altos entre 0,9 y 1,0 indican rocas compactas fracturadas o krastificadas.

Distancia al agua subterránea: Profundidad al nivel freático, con índices entre 0,6 referentes a acuíferos libres con profundidad mayor a 50 metros mientras que valores entre 1,0 muestran a aquellos que se encuentran en medios fracturados. La figura 4 muestra un esquema de valoración numérica de parámetros para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos según el Método GOD.

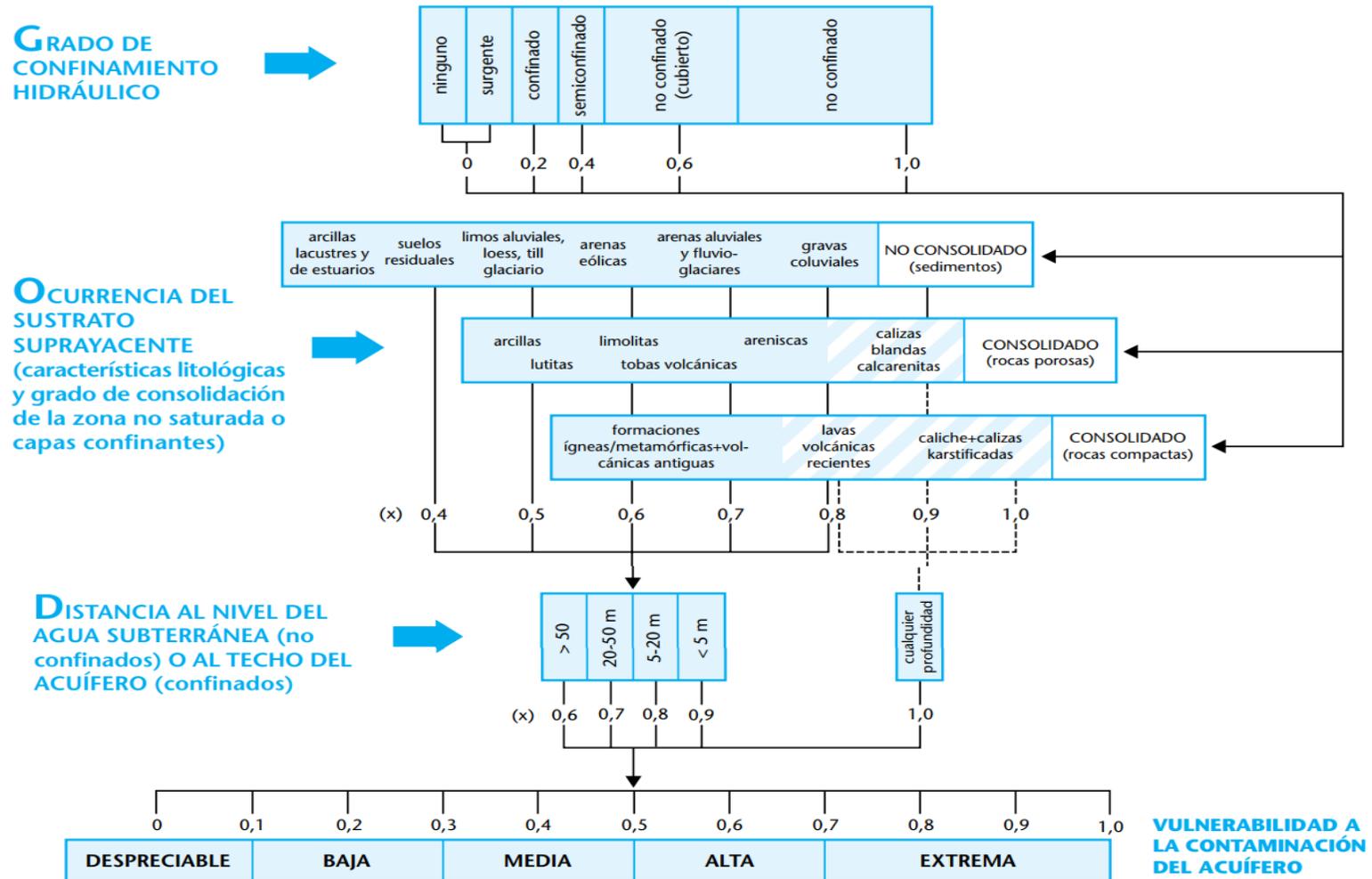


Figura 4 Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca  
Fuente: Foster et al., 2

## CAPÍTULO 3

### DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1 MANGLARALTO

La zona de estudio es el acuífero costero Manglaralto de la parroquia rural Manglaralto, como se muestra en la figura 5.



Figura 5 Zona de estudio  
Fuente: Autor

Manglaralto se encuentra ubicado al norte de la provincia de Santa Elena en la Costa del Ecuador en las cuencas del río Valdivia, Ayangué y Manglaralto, su nombre se debe a que antiguamente esta área estaba cubierta por varios manglares. La extensión territorial de Manglaralto es de 497,4 km<sup>2</sup>, el clima de la zona varía entre los 25° C a 29° C. Se encuentra limitada al norte con la provincia Manabí; cantón Puerto López,

al sur con la parroquia Colonche, al este con la provincia Manabí; cantón Jipijapa y al oeste con el Océano Pacífico (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Manglaralto, 2017).

La cuenca del río Manglaralto está localizada al norte de la península Santa Elena, limitada al norte por la cuenca del río Olón con un área de 56 km<sup>2</sup>, a 700 metros nace en la cordillera Chongón Colonche, el río Manglaralto. En épocas de sequía el caudal del río Manglaralto disminuye mientras que en épocas de invierno aumenta.

### **3.1.1 ESTRATIGRAFÍA**

El sector de estudio está formado por las siguientes unidades litoestratigráficas según Amado (1990) y Núñez del Arco (2003):

Formación Cayo: Se encuentra asentada en la parte montañosa de la cuenca; amplias capas de estratos delgados y gruesos son encontrados en esta localidad, se observan tonalidades de color verde oscuro a gris verdusco que indican la presencia de lutitas arcillosas, tobáceas y silicificadas. La presencia de areniscas conglomeráticas varía en tonalidades de color pardo a negro, en algunos lugares del sector se observan grauvacas.

Grupo Ancón: Está formada por dos unidades estratigráficas; la formación Socorro y la formación Seca. El tipo de material por el cual está formado este grupo son areniscas de color gris verdoso a amarillo pardo de grano fino a grueso.

Calizas Javita: aflora en el flanco sur y Oeste de la Cordillera Chongón Colonche formada por calcarenitas de color crema a gris, en su base son comunes las lutitas calcáreas.

Formación Tosagua: pertenece al Mioceno Inferior – Mioceno Medio donde se distinguen tres miembros: miembro Zapotal, miembro Villingota, miembro Dos Bocas. En el centro de la cuenca se asientan lutitas de

tonalidad chocolate mientras que su color cambia al noroeste de la cuenca adquiriendo un tono rojo ladrillo.

Depósitos aluviales: Los depósitos aluviales hacen referencia a todo material transportado como: arenas, limos, arcillas, conglomerados y gravas subangulares que varían en tamaño.

### **3.1.2 PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS**

Los datos reportados por el INAMHI durante el año 2016, muestran precipitaciones bajas en Manglaralto, con temperaturas máximas que oscilas entre los 28°C y 32°C, siendo un factor importante las precipitaciones y temperaturas, en el desarrollo de este proyecto se utilizará información obtenida por los pluviómetros instalando estaciones, en varios sectores del área de estudio.

Santa Elena presenta un clima desértico; la temperatura media anual se encuentra a 24.1°C con precipitaciones de 155 mm, la poca lluvia ha provocado inconvenientes en el desarrollo laboral de los comuneros.

Al pasar de los años las precipitaciones han ido en constante disminución buscando soluciones como la perforación de pozos en el sector de Santa Elena, disminuyendo la constante necesidad de los pobladores por el abastecimiento del líquido.

Con la finalidad de caracterizar la pluviosidad de la zona de estudio se utilizó información de los anuarios meteorológicos que son emitidos por el INAMHI, donde se muestra la distribución temporal de precipitaciones durante los años 2008, 2010, 2011, 2012, 2014. Durante el 2008 las lluvias comenzaron en enero incrementando la precipitación para el mes de febrero y marzo, a partir de mayo las precipitaciones fueron nulas, la temperatura presente para dicho año oscilaba entre los 26°C en tendencia a disminuir a partir del mes de mayo según la curva de la distribución

temporal de temperatura 2008 (INAMHI , 2010), como se muestra en la figura 6.

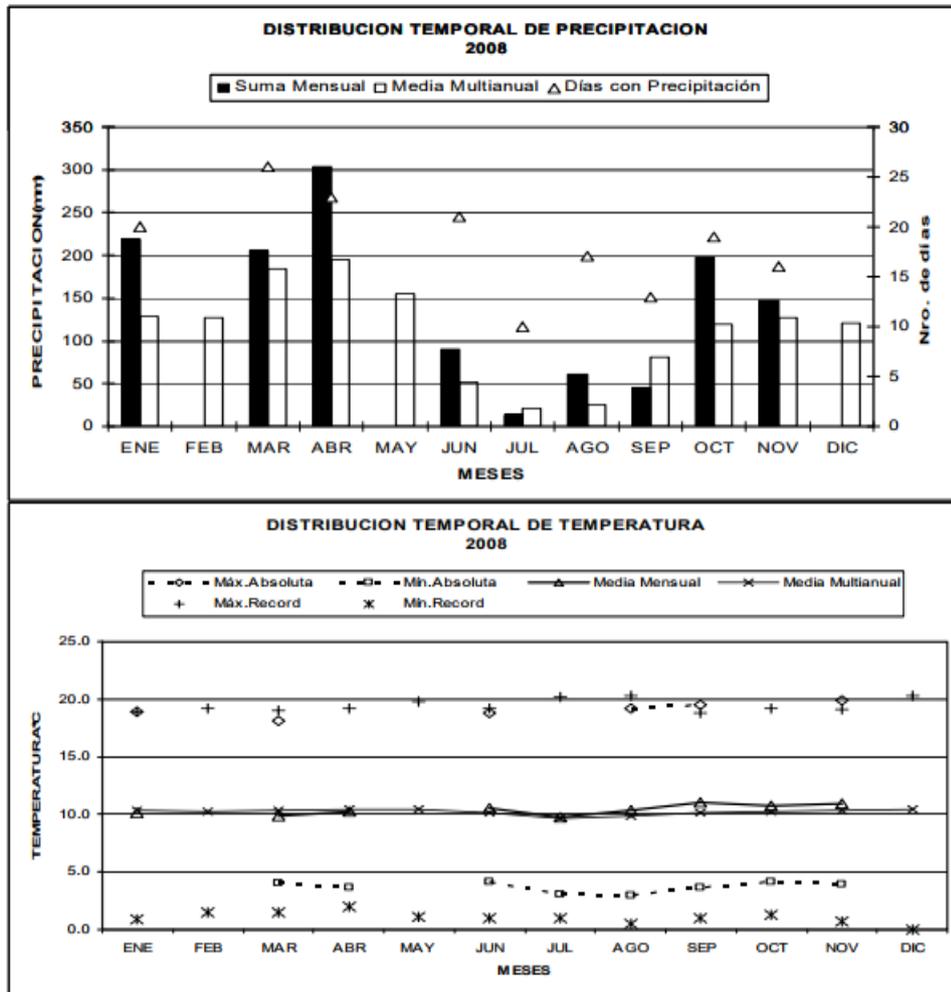
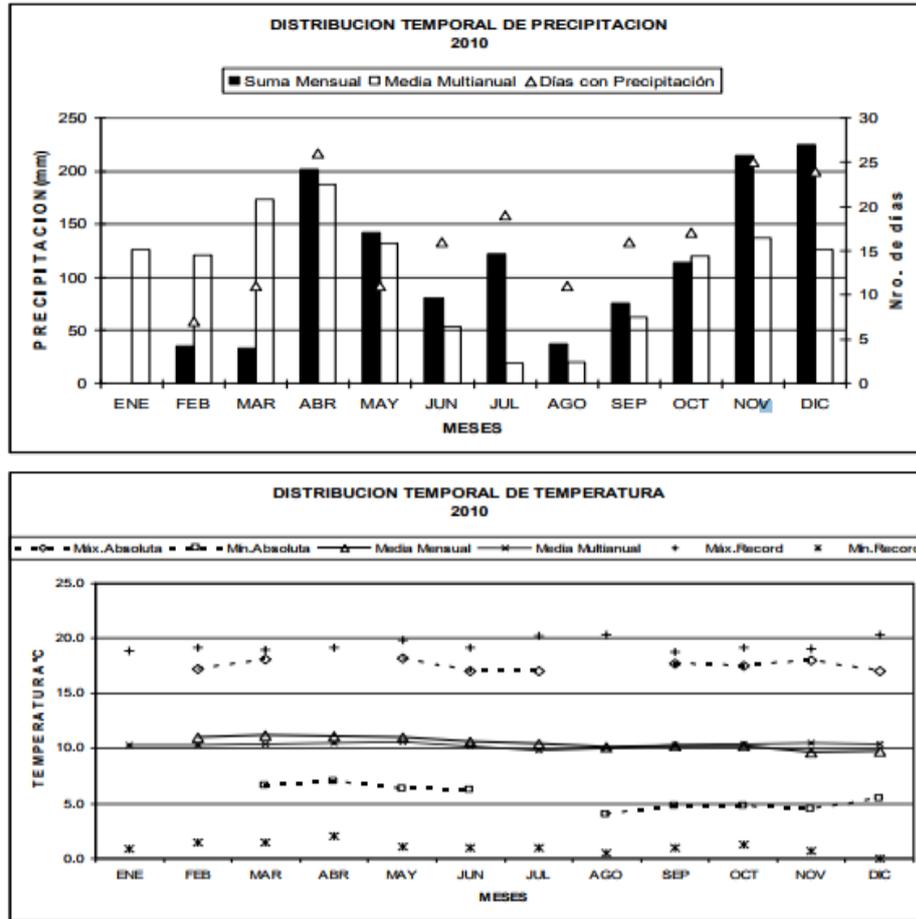


Figura 6 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2008  
 Fuente: INAMHI, 2010

En el área de estudio durante el 2010 presenta una temporada lluviosa entre los meses de enero a marzo y una temporada seca a partir de mayo a diciembre; su temperatura media anual es de 26.13°C con tendencia a disminuir muy poco para épocas de sequía (INAMHI, 2012), como se muestra en la figura 7.



**Figura 7 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2010**  
Fuente: INAMHI, 2012

Durante el 2011 el mes de enero y abril presentan mayores precipitaciones mientras que a partir de mayo a diciembre las lluvias fueron pocas, el mes representativo de una mayor temperatura fue abril con 26°C y una temperatura baja a partir de agosto con 21°C (INAMHI, 2014), como se muestra en la figura 8.

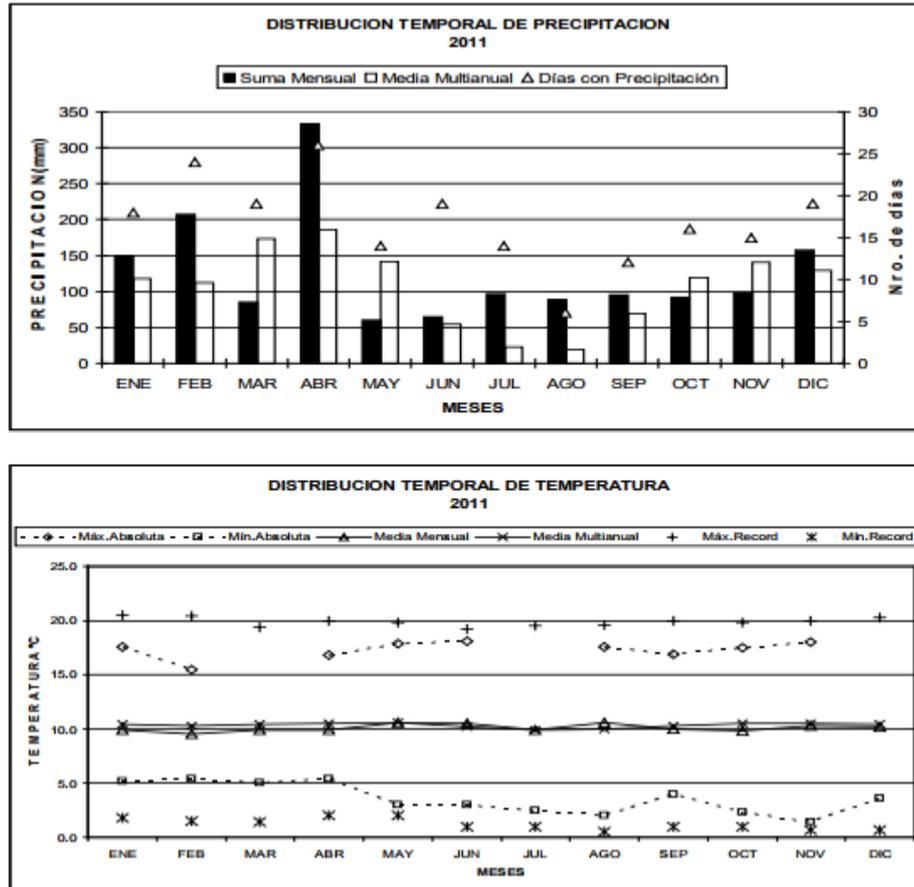


Figura 8 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2011  
 Fuente: INAMHI, 2014

La distribución temporal de precipitación 2012 indica mayor cantidad de lluvia para los primeros meses del año comenzando con una mayor precipitación en el mes de enero mientras que para febrero, marzo y abril su tendencia va disminuyendo llegando al mes de mayo y lo que resta del año a precipitaciones nulas y temperaturas desde los 22.5°C hasta los 25.5°C (INAMHI, 2015), como se muestra en la figura 9.

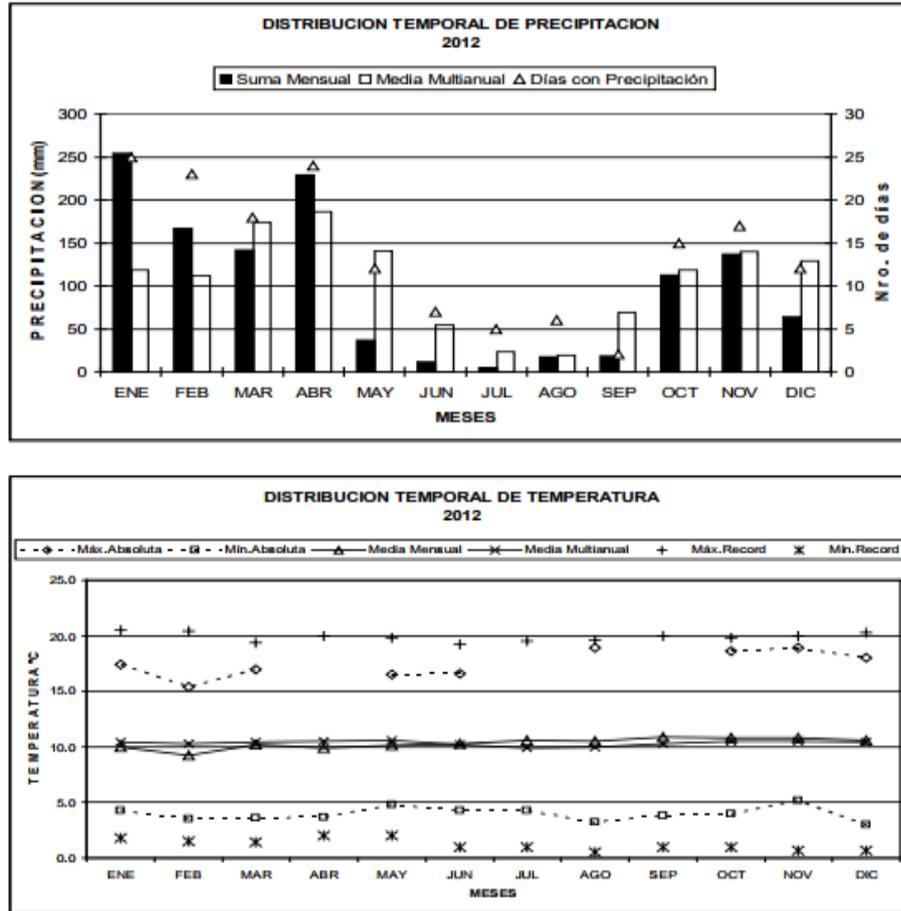
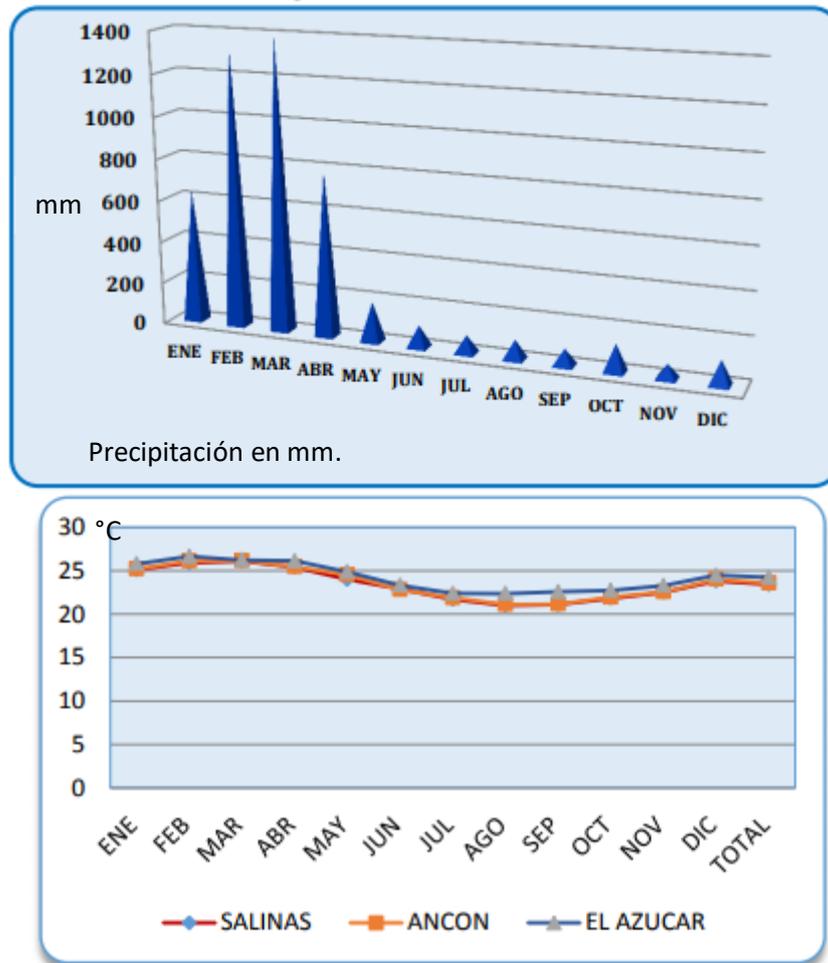


Figura 9 Distribución temporal de Precipitación y Temperatura año 2012  
 Fuente: INAMHI, 2015

Durante el 2012 en el cantón Santa Elena hubo fuertes lluvias en el intervalo de enero a abril, mientras que en el resto de los periodos la cantidad de lluvia no es relevante. En cuanto a la temperatura, el mes de agosto es el que presenta el menor valor de temperatura y los valores más altos se encuentran en los meses de Febrero-Abril (época mayor lluvia), según datos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Elena (2014) como se muestra en la figura 10.



**Figura 10 Precipitación y Temperatura media mensual año 2012**  
**Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Elena, 2014**

El mes de mayo de 2016 las precipitaciones en Manglaralto fueron mínimas, oscilaban entre 1mm a 10mm, presentando una temperatura de 28°C a 32°C. Para el período de análisis del mes de junio se observaron nulas lluvias en el sector de Santa Elena. Basándose en mapas de precipitaciones de la zona de estudio se puede observar que las épocas lluviosas comienzan a inicio del año bajando su intensidad en los meses de abril a mayo, terminando en épocas de sequía para los últimos meses del año. Las temperaturas oscilan desde los 21°C hasta los 32°C en épocas de sequía, considerando a la zona como un clima tropical semiárido.

### **3.1.3 DEMANDA DE AGUA**

La parroquia Manglaralto tiene 35,289 habitantes hasta el 2016, según proyecciones del Censo Nacional (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010). La Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN) abastece de este recurso a las comunas: Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar, dado a que en esta zona no existe empresa de red pública que abastezca y distribuya del recurso agua a las comunidades rurales. El número de usuarios por comuna adscrita a la JAAPMAN se muestra en la tabla 3, los usuarios incluye los residentes locales y la población flotante; dado a que es una zona que recibe un importante flujo migratorio de turistas, especialmente en las comunas de Montañita y Olón (Herrera, 2016).

<b>Comunas</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>
Montañita	556	4.887	6.554
Manglaralto	655	5.760	7.225
Río Chico	42	367	492
Cadeate	201	1.765	2.367
San Antonio	220	1.936	2.596
Libertador Bolívar	327	2.872	3.852
Total	2.000	17.587	23.586

**Tabla 4 Población aproximada de comunas adscritas  
Fuente: Herrera, 2016**

### 3.1.4 GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS Y ALCANTARILLADO

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010), en la parroquia rural Manglaralto el servicio de recolección de basura cubre el 96.03% de la población, otras prácticas son el de arrojar la basura a terrenos baldíos, incinerar o enterrar como se puede observar en la figura 11; mientras que en la figura 12 se puede observar que solo el 1.09% tiene servicio de alcantarillado de red pública, y en la mayoría de los casos (el 50.88%) las aguas servidas descargan en pozos sépticos.

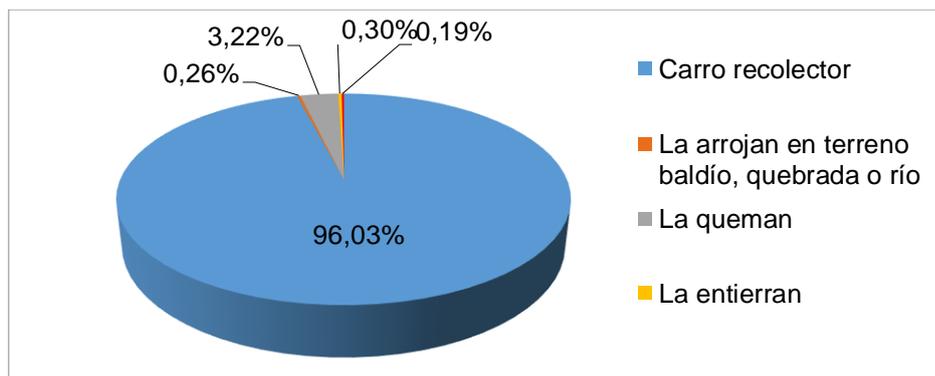


Figura 11 Gestión de desechos sólidos  
 Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010

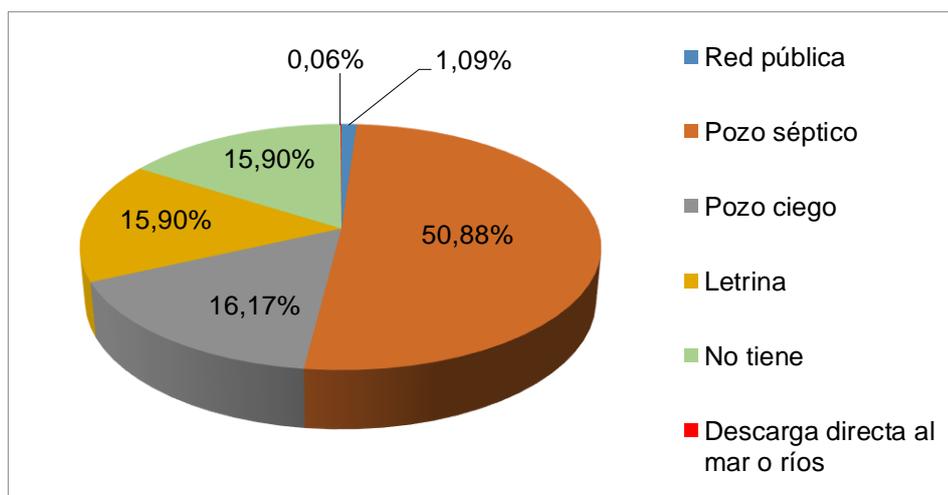


Figura 12 Porcentaje de utilización de un tipo de servicios higiénicos.  
 Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 METODOLOGÍA GENERAL**

Este proyecto se divide en tres fases, las cuales se describen a continuación y se presentan en esquema a través de un flujo de diagrama en la Figura 13.

##### **4.1.1 FASE 1: INFORMACIÓN PRELIMINAR**

Comprende la adquisición de los estudios previos realizados en tiempos anteriores por los diversos proyectos desarrollados en las comunas que conforman la península de Santa Elena, relacionados a este proyecto de investigación. Información esencial para establecer la problemática del sector, así como datos geológicos, geofísicos, geoquímicos, mapas y geomorfología en el área de Santa Elena, para determinar un conocimiento mucho más amplio de las necesidades y requerimientos que se vayan a trabajar y mejorar en el área de estudio.

Datos meteorológicos como clima y precipitación son importantes en el desarrollo de este proyecto por lo cual es necesario conocer aquella información ya puesta a disposición por el INAMHI. La geología y geomorfología del lugar obtenida de otros estudios nos permiten definir una idea general del tipo de suelo sobre el cual se encuentra asentado Manglaralto y a su vez dicha información será revisada en la salida de campo que se realizará para la obtención de datos geofísicos y geoquímicos.

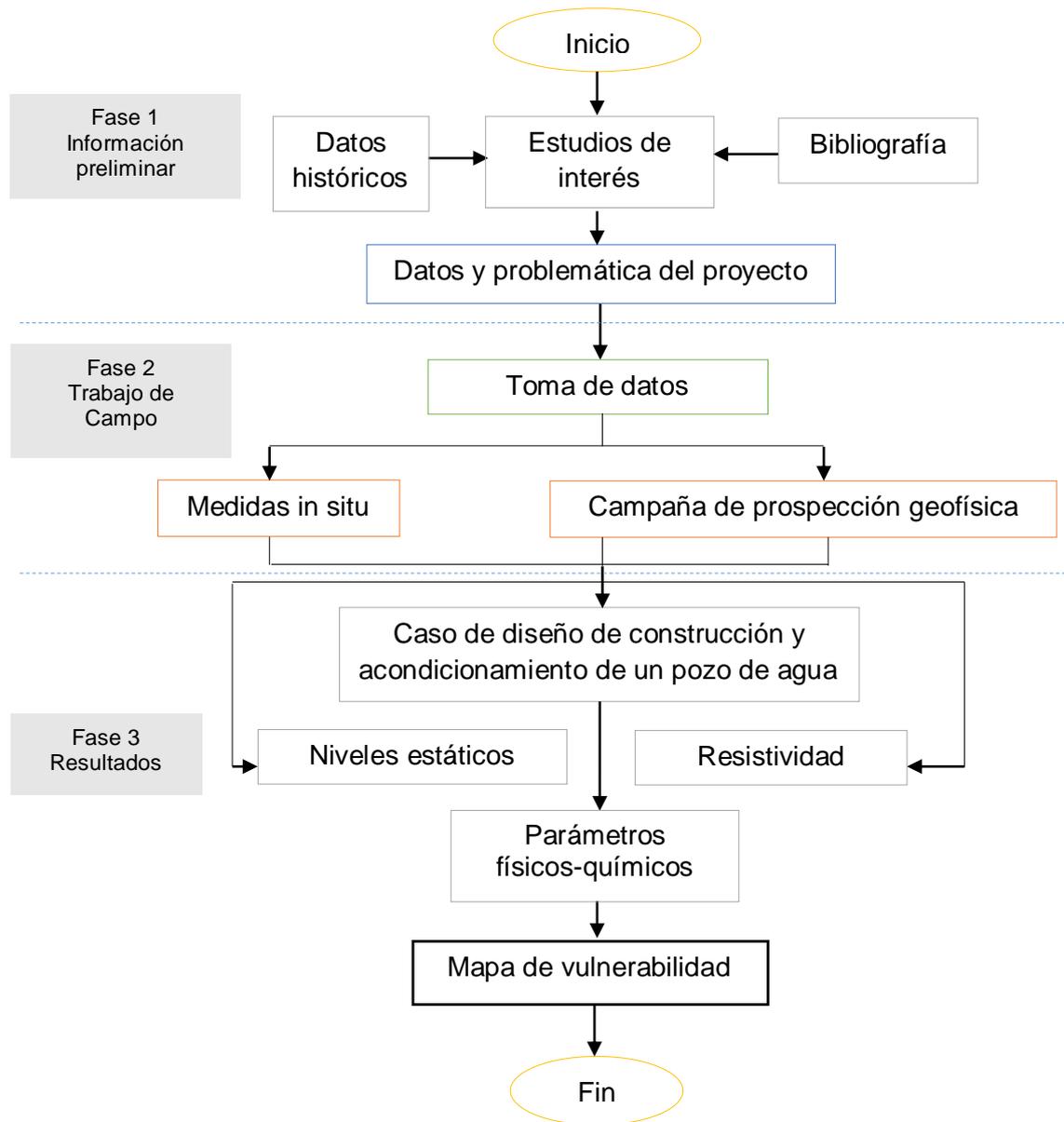


Figura 13 Esquema Metodológico General  
Fuente: Autor

## 4.1.2 FASE 2: TRABAJO DE CAMPO

En esta segunda fase se efectúa una revisión de todos aquellos datos obtenidos durante la información preliminar la misma que debe ser complementada con las observaciones realizadas en campo. El trabajo de campo realizado en Manglaralto consiste primordialmente en la toma de datos geofísicos del sector que permita definir la altura a la que se

encuentra la capa permeable del pozo, así como la medición de parámetros físicos-químicos que establecen el nivel del agua, llevando consigo un historial de la cantidad de líquido que disminuye en la entrega del agua hacia los pobladores junto con la recarga en épocas lluviosas.

### **4.1.3 FASE 3: RESULTADOS**

Los resultados adquiridos durante la salida de campo son procesados y analizados en oficina. Las resistividades obtenidas durante los sondeos eléctricos verticales son analizadas en el programa IPI2win seguidas del ajuste de la curva de campo la misma que mostrará una tabla con la resistividad, espesor y profundidad de las capas del subsuelo; a través de la cual se hará la correcta clasificación de los sedimentos por los cuales se encuentra formado Manglaralto.

Los datos conseguidos durante la toma de niveles revela la evolución temporal del nivel estático, definiendo la tendencia de la curva luego de la distribución que se realiza a diario en las comunas. Valores de resistividades precisan la capa permeable y revelan la profundidad ideal de perforación del pozo, el tipo de material presente en el interior del subsuelo definirá el equipo, tamaño y grosores de los materiales a trabajar para la perforación del pozo, presentando la propuesta sobre el diseño de construcción y acondicionamiento de un pozo en Manglaralto. Para finalizar se realiza el mapa de vulnerabilidad del acuífero costero.

## **4.2 TRABAJO DE CAMPO**

La prospección geofísica inicia estableciendo la ubicación de los 14 sondeos eléctricos verticales (SEV). Los datos obtenidos mediante los SEV precisarán la resistividad de las rocas mostrando las características del subsuelo y clasificando el tipo de material, junto con sus profundidades y espesores, definiendo la capa permeable que servirá de aporte para el abastecimiento de agua a los comuneros del sector de Manglaralto. El equipo utilizado para los SEV fue el terrameter SAS 4000, aparato que envía corriente eléctrica a través de los electrodos que son colocados en la superficie del terreno de estudio permitiendo obtener los resultados más representativos de las capas del subsuelo, como se muestra en la figura 14.



**Figura 14 Toma de datos geofísicos: terrameter SAS 4000**  
*Fuente: Autor*

El objetivo de los sondeos es conocer el modelo de variación de la resistividad aparente en función de la profundidad, la corriente aumenta a medida que los electrodos se distancian. Los electrodos son colocados a 100 metros de izquierda y derecha del punto de estudio, permitiendo abarcar un mayor volumen significativo del medio a investigar, a mayor distancia horizontal mayor información de la profundidad. Los anexos 1-14 describen los datos obtenidos en campo de los sondeos eléctricos realizados.

## CAPÍTULO 5

# PROPUESTA DE DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE UN POZO DE AGUA

### 5.1 UBICACIÓN DEL POZO DE AGUA

Estudios de la Escuela Superior Politécnica del Litoral a través del Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT-ESPOL) y la Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN) determinaron el sitio idóneo para la perforación del pozo de agua N° 11 como se lo muestra en la figura 15, en las coordenadas X: 531594 Y: 9796770.

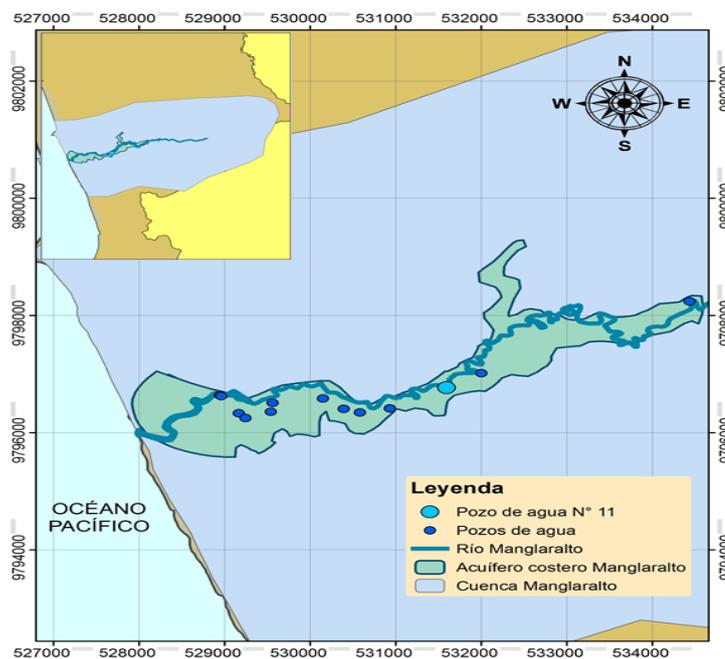


Figura 15 Nuevo pozo de agua  
Fuente: Propia

## 5.2 Diseño del pozo.

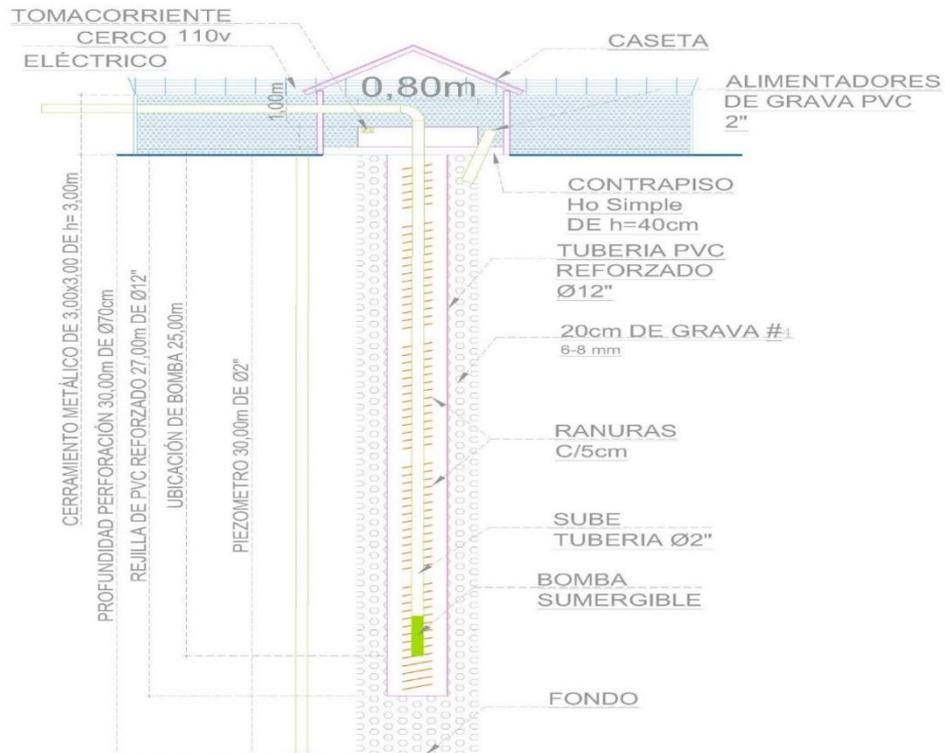


Figura 16 Diseño del pozo  
Fuente: Autor

Se diseñó el pozo # 11 para abastecer del recurso hídrico a la comunidad de Manglaralto, fueron construidas las instalaciones eléctricas de 110V para el funcionamiento de la bomba sumergible, colocando una caja de breaker con cable concéntrico # 12.

El diámetro del pozo es de 80 cm, donde fueron colocados cinco tubos de PVC de 12" y 6m de longitud; alrededor de la abertura externa del tubo se colocó grava # 4.

### **5.3 CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE AGUA**

El método de construcción que se utilizó fue el sistema de rotación, que consistió en perforar el suelo con un eje giratorio, con agua de lodos, el cual permite que los triconos se dé fácil perforación y transportar en suspensión el material particulado hacia la superficie del terreno, y a la vez formar un película protectora en las paredes del pozo; evitando el desmoronamiento de las paredes laterales del pozo.



**Figura 17 Exploración del terreno  
Fuente: Autor**

El equipo de perforación por rotación consta de las siguientes partes y la función que cumple cada una se describe a continuación:

- Mesa de rotación: hace girar el motor para la perforación, su acción es por acople directo.
- Barra giratoria o Kelly: es una barra de Y que pasa por el centro de la mesa rotatoria y su función es girar para poder perforar, en el extremo inferior se acoplan las brocas y en el superior al eslabón giratorio llamado Swivel que soporta toda la sarta de perforación. La barra es de acero y hueca por el centro de 2", por ahí pasa el lodo de perforación.

- Swivel o eslabón giratorio: éste va acoplado a la parte superior de la barra giratoria, es una pieza hueca en el centro, aquí se acoplan la manguera que viene de la bomba de lodos.
- Drill collars o tubería pesada de perforación: se utilizaron tubos de 6 metros, llegando a una profundidad total de 30 metros.
- Tríconos o brocas de perforación: cumple la función de romper las capas de la corteza del suelo, rocas, piedras hasta llegar a la película de agua.
- Bomba de lodos: se usa la bomba para succionar de la balsa y llevarla por la manguera hacia el Kelly y al fondo del pozo, con la finalidad de una fácil perforación, tanto en el suelo como en la maquinaria. El lodo asciende a la superficie llevando partículas en suspensión por un canal pasa a la fosa de sedimentación donde se deposita por su propio peso las partículas: grandes, pesada, limo, arcilla, arena.
- Motor ACKER: el motor que se utilizó, estaba acoplado en el chasis del vehículo junto a la torre de perforación.

Dentro de las primeras salidas de campo se efectúa una perforación de reconocimiento en un diámetro reducido hasta una profundidad aproximada a la que se haya estimado con los datos obtenidos durante el sondeo eléctrico vertical, donde se hizo la clasificación de cada una de las capas del subsuelo. Durante la perforación de exploración se obtienen muestras sedimentológicas a través de las cuales se realiza la verificación de los datos obtenidos durante el ajuste de la curva de campo a partir de las resistividades de los materiales del subsuelo.



**Figura 18 SEV**  
**Fuente: Autor**

La perforación se realizó lejos de cualquier contaminante que pueda dañar el agua almacenada tal como: desechos, corrales de animales y demás factores que pongan en riesgo la salubridad del líquido.



**Figura 19 Perforación por rotación**  
**Fuente: Autor**

Una vez que se determinó el área para la perforación del pozo se procedió a instalar los elementos y accesorios para el anclaje de la máquina perforadora. El equipo de perforación y los accesorios tales como extensiones, palas, picos, azadones, mangueras de caucho reforzadas con alambre de 2", acoples, bombas de agua, herramientas, grasa, sogas,

caucho; fueron trasladados desde Guayaquil a Manglaralto junto a una cuadrilla de 10 personas.



**Figura 20** Equipo de trabajo  
*Fuente: Autor*

Con la facilidad de una retroexcavadora CATERPILLAR 580SN se realizó dos balsas de lodos para almacenar agua, sus medidas fueron de 1.60 x 1.90 metros; unidas por un canal intermedio se utilizó el agua más espesa, el cual tiene arcilla para la rotación del eje perforador, de la celda # 1 inyectamos el agua con la bomba de 5.5 hp hacia el punto de perforación (agua de lodos).



**Figura 21** a) Extensiones b) Balsas de lodo  
*Fuente: Autor*

Para la perforación del pozo de agua se prevé para el primer día de trabajo la nivelación de la máquina perforadora del suelo y la elevación de la torre o castillo, se inició realizando un orificio en el suelo con una barreta para luego proceder accionar la máquina perforadora a 2.5 rpm, fue utilizado una manguera de agua a presión de 2", la cual facilitó el trabajo de rotura y trituración del suelo por donde pasó el eje perforador tricónico.



**Figura 22 a) Inicio de la perforación b) Perforador tricónico  
Fuente: Autor**

Los sondeos eléctricos verticales identificaron el tipo de material según las resistividades obtenidas durante el ajuste de la curva sin embargo la clasificación del material se verificó durante la primera perforación observándose que a 1 metro se encontró suelo arcilloso seguida de una capa de suelo arenoso y a 3 metros se dispone una capa de grava.

Realizando la perforación se usó sacos de bentonita la cual favorece sellando grietas, para continuar con la perforación subterránea a la vez el agua limpia fue necesario cuando estaba muy espesa el agua (arcilla) y se continuo con la perforación; realizamos cambios de extensiones de 6

metros de longitud con la ayuda de una llave de tubo y el motor en reversa para desacoplar la extensión, para la unión de la extensión se usa grasa y sogas, en casos hidráulicos favorece para empatar las extensiones con firmeza, a la vez sea fácil el desacoplado y la unión de la nueva extensión para seguir perforando el terreno.



**Figura 23 a) Aplicación de bentonita b) Ajuste de extensiones**  
*Fuente: Autor*

Se procedió a aumentar las rpm del motor, se produjo un imprevisto en el cual del cardán se escuchó un sonido en el eje de rotación, lo cual fue necesario engrasar el rulimán del centro, para continuar con la perforación se procedió acoplar una extensión y la bomba enseguida fue encendida y se continuó el proceso de perforación por rotación. En la perforación por rotación cada vez que se escuchó el sonido de trituración de roca, se procedió a bajar las rpm y se puso una marcha de fuerza en el motor para iniciar la trituración de la roca.



**Figura 24 a) Engrasamiento de rulimán b) Tamiz para granulometría**  
Fuente: Autor

Al llegar a los 5 metros de profundidad desde el nivel del suelo se encontró piedra, al ser taladrada se escuchó el rompimiento del material dejando de sonar al poco tiempo dando por terminada la trituración del material.

A los 6.55 metros se suscitó la filtración del agua del río producto de las grietas, tomando como solución el agregar un quintal de bentonita para sellar las paredes, se paró la máquina a los 6.75 metros debido a que el agua no ascendía limitando seguir con la acción de perforación. Se aplicó otro saco de bentonita ya que aún no se sellaba el pozo; sin embargo al no conseguir los resultados esperados se apagó el motor esperando un tiempo de una hora para reiniciar la perforación y su posterior ascenso de agua indicando que las grietas finalmente se han sellado.

Fueron aplicados tres sacos de bentonita a 20 metros de profundidad, se utilizó dos bombas de 5.5 HP que succionaron agua desde el río hacia las dos balsas de lodos que fueron trabajados en la perforación.



**Figura 25 a) Acoplamiento de mangueras b) Sonda multiparamétrica**

*Fuente: Autor*



**Figura 26 Grava N: 4**

*Fuente: Autor*

A los 30 metros se llegó a la profundidad establecida para la perforación. Para la actividad del encamisado se utilizó tubos PVC de 12 pulgadas, 6 metros de largo y 34 centímetros de ancho.



**Figura 27 a) Descenso del tubo en el pozo b) Acopamiento de tubo**  
*Fuente: Autor*

Se utilizaron 100 Sacos de grava # 4, los cuales fueron colocados alrededor del tubo con el objetivo de mantener fijo el mismo, se realizaron ranuras cada 5 cm alrededor del tubo con discos de esmeril con el objetivo de que el agua filtre al interior del tubo, a continuación se procedió al descenso de los tubos acoplados con el rollo de cable giratorio que soportó el peso para el acoplamiento de los tubos en el pozo.



**Figura 28 a) Nivelación del tubo b) Unión del tubo**  
*Fuente: Autor*

## **5.4 LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DEL POZO DE AGUA**

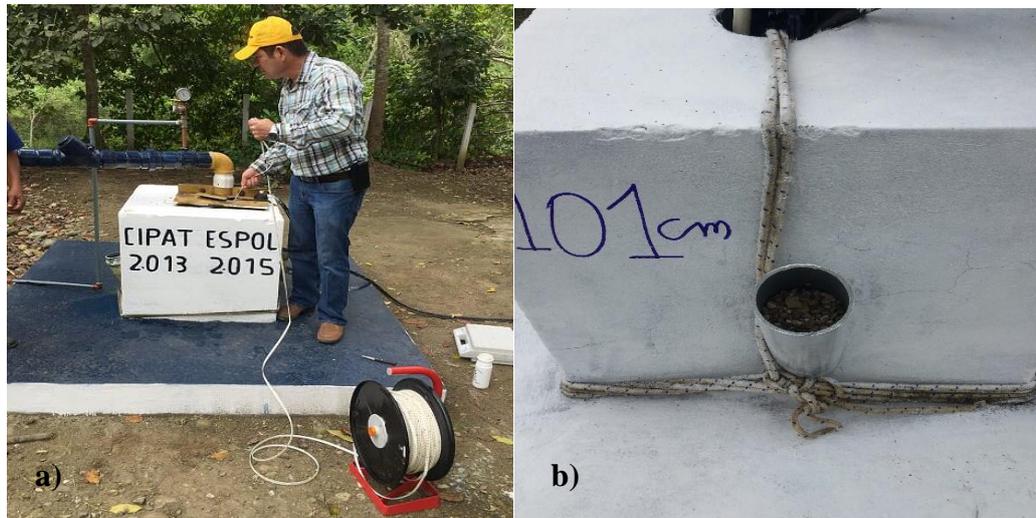
Se utilizó una bomba de agua doméstica para lavar la tubería del pozo con el objetivo de que quede limpia la tubería PVC, a la vez se usó un compresor con una presión de 150 psi con la finalidad de que todos los sedimentos precipiten, se dejó reposar 72 horas para hacer uso del agua.



**Figura 29 a) Envío aire con presión b) Succionando agua**  
*Fuente: Autor*

## **5.5 PROTECCIÓN DEL POZO DE AGUA**

Se realizó una base de hormigón armado con una altura de 40 cm, se precedió a construir un pilar de hormigón con una altura de 101 cm y 80 cm de ancho, en la parte lateral se colocó un tubo PVC de 2" que es alimentador de grava # 4, su función es de un filtro adicional para obtener una mejor calidad de agua. En la parte exterior se precedió a pintar con color azul y blanco, estos colores identifican que es agua.



**Figura 30 a) Protección del pozo hormigón b) Filtro grava Nº 4**  
*Fuente: Autor*

En la base superior del pilar, va el tubo de extracción en forma de codo, acoplado a una extensión de 2", en las cuales van neopros, que sostienen manómetros de presión, llaves, tubos, que son usados en el bombeo del agua. Está cubierto el área donde ingresa el tubo, así evitamos que se contamine el pozo y dejamos un agujero para realizar sondeos estáticos. Se construyó una caseta para cubrir el pozo de algún agente u vector contaminante, las medidas de la caseta es de: 0.80m de ancho, con una altura de 1m. Como soporte de la caseta se usó tubería galvanizada de 2" ubicada en las 4 esquinas de la caseta, seguido de esta se procedió a realizar un cerramiento evitando el ingreso de contaminantes producto de la agricultura, ganadería, avicultura; incidiendo en las zonas más vulnerables en el terreno infiltrándose al acuífero y contaminándolo.

El pozo de agua se construyó en el mes de Noviembre del 2.015

## **CAPÍTULO 6**

### **VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO COSTERO**

#### **6.1 NIVELES ESTÁTICOS DE LOS POZOS DE AGUA**

El nivel piezométrico en un acuífero Semiconfinado, como es el caso del acuífero costero Manglaralto, es la altura que alcanzaría el agua en el interior de un sondeo hasta equilibrarse con la presión atmosférica; es decir es el nivel del agua que se observa en el pozo. Por otro lado, el nivel estático es la elevación de la superficie piezométrica cuando no está influenciada por bombeo u otras formas de extracción de agua subterránea.

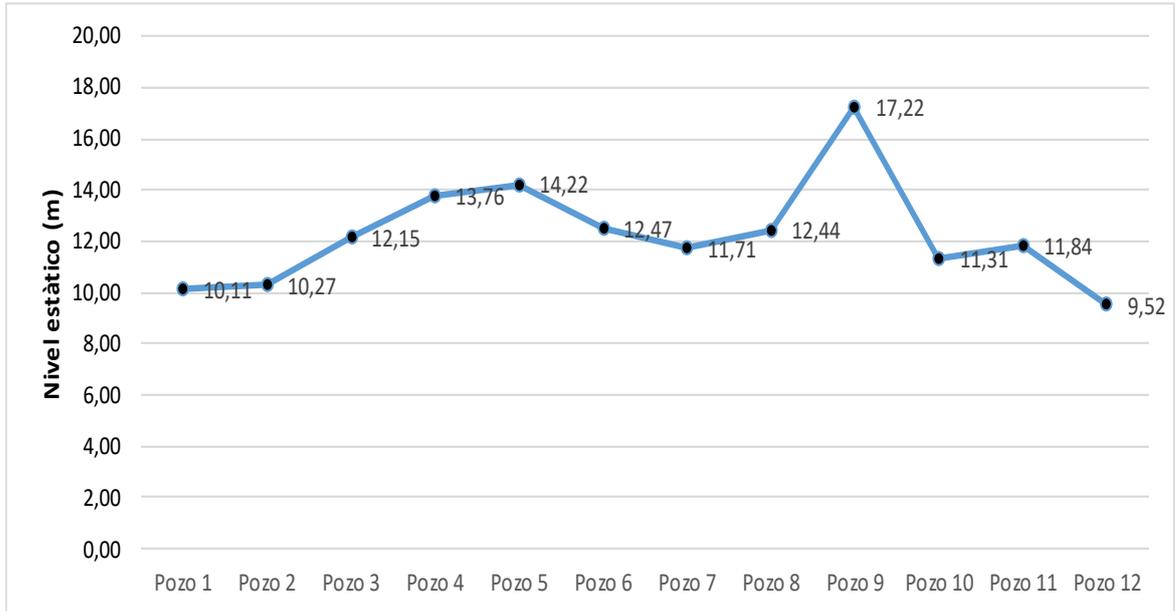
Se realizó un inventario de los pozos de agua que administra la JAAPMAN como se observa en la tabla 4. Los niveles estáticos fueron medidos durante un periodo de cuatro meses (dos veces por mes), para determinar el nivel que se encuentra el agua en cada uno de los pozos cuando no se ha iniciado la extracción del líquido. El nivel de los pozos se realizó en el campo a través de una sonda de pozo que muestra la medición hidrostática a la cual se encuentra el pozo. La evolución temporal del nivel de agua de los pozos de agua desde mayo hasta agosto del 2016 se muestra en la tabla 5 y la figura 30.

Pozos de agua	Coordenadas	
	X	Y
Pozo 1	528948	9796642
Pozo 2	528961	9796628
Pozo 3	529164	9796335
Pozo 4	529243	9796252
Pozo 5	529538	9796360
Pozo 6	529561	9796513
Pozo 7	530150	9796584
Pozo 8	530582	9796348
Pozo 9	530929	9796418
Pozo 10	530390	9796411
Pozo 11	531594	9796770
Pozo 12	532000	9797019

**Tabla 5 Ubicación de pozos de agua en Manglaralto**  
*Fuente: Autor*

Fecha	Nivel Estático (m)											
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8	Pozo 9	Pozo 10	Pozo 11	Pozo 12
11/05/2016	8,99	9,42	10,91	12,71	13,45	11,7	10,68	8,77	16,69	8,85	10,16	7,02
25/05/2016	9,36	9,6	11,75	13,27	13,73	11,88	11,58	9,9	16,8	9,29	10,4	8
08/06/2016	9,96	9,92	11,94	13,53	14,33	13,13	11,75	11,87	16,98	10,17	11,03	8,3
15/06/2016	10,1	10,2	12,08	13,82	14,95	13,65	12,02	12,35	17,03	10,44	11,35	8,53
07/07/2016	10,26	10,42	12,69	14,39	15,11	14,02	12,4	13,79	17,4	11,77	11,68	9,21
28/07/2016	10,57	10,78	13	14,86	15,58	14,3	13,3	14,89	17,68	12,7	12,07	10,01
09/08/2016	10,71	11,02	13,11	15,01	16,3	14,52	13,67	15,02	17,94	13,05	12,28	11,28
17/08/2016	10,96	11,25	13,48	15,12	16,65	15,11	14,12	15,39	18	16,89	12,48	12,02
20/12/2016			15	16,6	18,3	17	15,6	15,65	17,75		13,75	10,75
23/02/2017		9,8	12				12	14	17,1		12	
09/03/2017				14,7	13		11,18	11,55	17,5			
17/03/2017				14	12,35	9,08	9,8	12,06	16,77			
24/03/2017				13,37	11,8	8,9	9,85	10,64	17,25			
30/03/2017								8			17,7	
11/04/2017				14,9			9,5	13,7			16,4	13,43
22/04/2017												9,36
25/04/2017									17,2		9,14	7,59
04/05/2017				10,2							8,4	
08/06/2017			7,66	9,9	9,3	6,4	8,15	11,5	16,2	8,63	8,8	8,2
PROMEDIO	10,11	10,27	12,15	13,76	14,22	12,47	11,71	12,44	17,22	11,31	11,84	9,52

**Tabla 6 Nivel estático de los pozos de agua datos de profundidad con respecto a la superficie del terreno**  
*Fuente: Autor*



**Tabla 7 Nivel estático promedio 2016**

*Fuente: Autor*

## **6.2 PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DE LOS POZOS**

Es importante destacar que los pozos # 1, # 2 y # 3 de Manglaralto no están en funcionamiento en la actualidad, debido a que existe alta contaminación de intrusión salina. Por lo que se tomaron medidas in situ que permitieron definir los parámetros físicos-químicos que definen la calidad y cantidad del agua subterránea de nueve pozos en Manglaralto, tales como salinidad, resistencia, conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura, como se muestra en la figura 31 y en las tablas 6 y 7.



**Figura 31 Toma de niveles**

*Fuente: Autor*

Los pozos pocos profundos están en mayor riesgo de contaminación debido a las capas del terreno. El principal problema relacionado con la calidad de agua de un pozo es el contenido de sales disueltas en el agua, es decir la salinidad. La principal razón sobre la presencia de sal en el acuífero es la erosión de las rocas y minerales, al encontrarse a grandes profundidades se mantiene en contacto con el mar. La salinidad analizada dentro de los pozos que se encuentran en Manglaralto indica que el líquido se encuentra apto para el consumo y distribución a los pobladores de las comunas, sin riesgos de ninguna enfermedad.

**Tabla 8 Parámetros físicos-químicos: Pozos 4-7, año 2016**

		Salinidad (Sal)	Resistencia ( $\rho$ )	Conductividad ( $\kappa$ )	Sólidos disueltos totales (TDS)	Temperatura (T)
<b>Pozo 4</b>						
Mayo	25	1.2	435 $\Omega$ cm	2.3 $\mu$ s/cm	2.3 g/l	26.5 $^{\circ}$ C
Junio	8	1.3	399 $\Omega$ cm	2.51 $\mu$ s/cm	2.51 g/l	26.8 $^{\circ}$ C
	15	1.3	398 $\Omega$ cm	2.51 $\mu$ s/cm	2.51 g/l	26.2 $^{\circ}$ C
Julio	28	1.5	352 $\Omega$ cm	2.84 $\mu$ s/cm	2.84 g/l	26.1 $^{\circ}$ C
Agosto	17	1.5	335 $\Omega$ cm	2.80 $\mu$ s/cm	2.80 g/l	26.4 $^{\circ}$ C
<b>Pozo 5</b>						
Mayo	11	0.5	900 $\Omega$ cm	1070 $\mu$ s/cm	1075 g/l	26.3 $^{\circ}$ C
	25	0.5	930 $\Omega$ cm	1073 $\mu$ s/cm	1075 g/l	26.5 $^{\circ}$ C
Junio	8	0.5	900 $\Omega$ cm	1111 $\mu$ s/cm	1111 g/l	26.4 $^{\circ}$ C
	15	0.5	897 $\Omega$ cm	1115 $\mu$ s/cm	1115 g/l	28 $^{\circ}$ C
Julio	7	0.5	896 $\Omega$ cm	1122 $\mu$ s/cm	1075 g/l	26.6 $^{\circ}$ C
Agosto	17	0.5	841 $\Omega$ cm	1188 $\mu$ s/cm	1188 g/l	25.9 $^{\circ}$ C
<b>Pozo 6</b>						
Mayo	25	0.4	1072 $\Omega$ cm	931 $\mu$ s/cm	930 g/l	28.3 $^{\circ}$ C
Junio	8	0.4	1007 $\Omega$ cm	993 $\mu$ s/cm	993 g/l	26 $^{\circ}$ C
	15	0.4	995 $\Omega$ cm	1005 $\mu$ s/cm	1005 g/l	28.4 $^{\circ}$ C
Julio	7	0.5	972 $\Omega$ cm	1029 $\mu$ s/cm	1029 g/l	27.6 $^{\circ}$ C
	28	0.5	938 $\Omega$ cm	1065 $\mu$ s/cm	1065 g/l	26.8 $^{\circ}$ C
Agosto	17	0.5	925 $\Omega$ cm	1082 $\mu$ s/cm	1082 g/l	26.8 $^{\circ}$ C
<b>Pozo 7</b>						
Mayo	25	0.4	1057 $\Omega$ cm	948 $\mu$ s/cm	947 g/l	26.4 $^{\circ}$ C
Junio	8	0.4	1068 $\Omega$ cm	936 $\mu$ s/cm	937 g/l	25.9 $^{\circ}$ C
Julio	7	0.4	1074 $\Omega$ cm	931 $\mu$ s/cm	931 g/l	26.3 $^{\circ}$ C
	28	0.4	1061 $\Omega$ cm	943 $\mu$ s/cm	943 g/l	26 $^{\circ}$ C
Agosto	17	0.4	1363 $\Omega$ cm	943 $\mu$ s/cm	943 g/l	26.1 $^{\circ}$ C

Fuente: Autor

**Tabla 9 Parámetros físicos-químicos: Pozos 8-12, año 2016**

		<b>Sal</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>\kappa</math></b>	<b>TDS</b>	<b>T</b>
<b>Pozo 8</b>						
Junio	8	0.5	871 $\Omega$ cm	1149 $\mu$ s/cm	1149 g/l	26 °C
Julio	7	0.6	805 $\Omega$ cm	1244 $\mu$ s/cm	1243 g/l	26.3 °C
Agosto	17	0.7	722 $\Omega$ cm	1384 $\mu$ s/cm	1384 g/l	25.9 °C
<b>Pozo 9</b>						
Mayo	25	0.6	793 $\Omega$ cm	1260 $\mu$ s/cm	1261 mg/l	26.4 °C
Junio	8	0.6	795 $\Omega$ cm	1256 $\mu$ s/cm	1256 mg/l	25.9 °C
Julio	7	0.6	797 $\Omega$ cm	1254 $\mu$ s/cm	1250 mg/l	26.3 °C
Agosto	17	0.6	800 $\Omega$ cm	1250 $\mu$ s/cm	1250 mg/l	27.7 °C
<b>Pozo 10</b>						
Mayo	25	0.5	895 $\Omega$ cm	1118 $\mu$ s/cm	1117 mg/l	28.3 °C
Junio	8	0.5	873 $\Omega$ cm	1146 $\mu$ s/cm	1146 mg/l	30.4 °C
	15	0.5	847 $\Omega$ cm	1181 $\mu$ s/cm	1181 mg/l	29 °C
Julio	28	0.6	792 $\Omega$ cm	1262 $\mu$ s/cm	1262 mg/l	25.8 °C
Agosto	17	0.8	646 $\Omega$ cm	1550 $\mu$ s/cm	1550 mg/l	36.3 °C
<b>Pozo 11</b>						
Mayo	25	0.4	1070 $\Omega$ cm	936 $\mu$ s/cm	934 mg/l	26.9 °C
Junio	8	0.4	1068 $\Omega$ cm	936 $\mu$ s/cm	936 mg/l	26.8 °C
	15	0.4	1063 $\Omega$ cm	941 $\mu$ s/cm	941 mg/l	26.1 °C
Julio	7	0.4	1070 $\Omega$ cm	936 $\mu$ s/cm	934 mg/l	26.9 °C
	28	0.4	1049 $\Omega$ cm	951 $\mu$ s/cm	953 mg/l	26.5 °C
Agosto	17	0.4	1037 $\Omega$ cm	963 $\mu$ s/cm	963 mg/l	26.6 °C
<b>Pozo 12</b>						
Junio	8	0.4	1016 $\Omega$ cm	984 $\mu$ s/cm	984 mg/l	27.6 °C
	15	0.4	987 $\Omega$ cm	1013 $\mu$ s/cm	1013 mg/l	27.5 °C
Julio	7	0.4	1066 $\Omega$ cm	942 $\mu$ s/cm	940 mg/l	27 °C
	28	0.5	868 $\Omega$ cm	1153 $\mu$ s/cm	1152 mg/l	27.2 °C

Fuente: Autor

## 6.3 PROCESAMIENTO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Los SEV fueron realizados en el terreno con el equipo: TERRAMETER SAS 4.000, utilizando cuatro carretones de alambre, electrodos: para poder extenderse 100 m hacia la derecha y 100 m hacia la izquierda; este proceso me sirve para identificar el tipo de terreno en el cual nos encontrábamos trabajando. Mientras más nos distanciamos a los extremos: tendremos una mejor lectura del tipo de material existente en el área.

Las resistividades obtenidas en campo durante los SEV: fueron procesadas y analizadas mediante una curva de campo que se ajusta con un valor no mayor al 5%, tal que el porcentaje de error estimado se encuentre en un rango aceptable para la clasificación del material. El ajuste de la curva se realiza en el programa Ipi2win, a través del cual se obtiene el valor de las resistividades y profundidades de las rocas en el interior del terreno, las cuales permiten definir el tipo de material de cada una de las capas así como la capa permeable y de almacén.

La figura 32 muestra la curva de campo y los parámetros de análisis de las curvas. En los anexos 15-28 se muestran las curvas de campo y los resultados de cada SEV realizado.

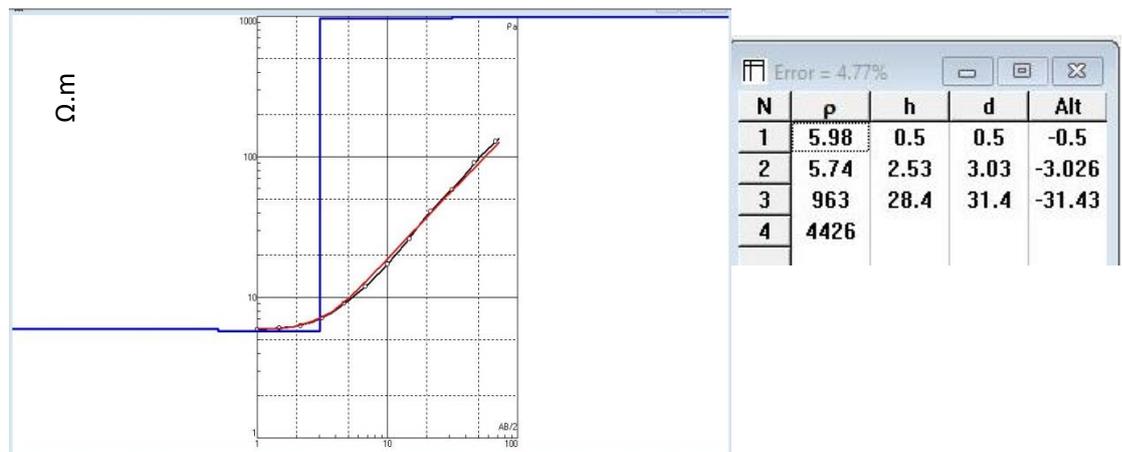


Figura 32 Curva de campo y parámetros de análisis de la curva  
Fuente: Autor

Los valores obtenidos de resistividades según los sondeos eléctricos verticales, permiten establecer una tabla que caracteriza el tipo de material del terreno del acuífero costero Manglaralto, como se describe en la tabla 8.

**Tabla 10** Tabla de resistividades

<b>Material</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega</math>m)</b>
Superficie Areno-Limosa	30 $\Omega$ m- 55 $\Omega$ m
Superficie Limo-Arenosa	5 $\Omega$ m- 25 $\Omega$ m
Material poco permeable( arcillas)	3 $\Omega$ m- 45 $\Omega$ m
Material muy permeable(gravas y arena)	350 $\Omega$ m- 850 $\Omega$ m
Basamento	1000-3500

Fuente: Autor

## **6.4 MAPA DE VULNERABILIDAD**

Mediante el método GOD se realizó el análisis de vulnerabilidad que permitió determinar el grado de contaminación que se encontró presente en los pozos de Manglaralto, los parámetros a analizar dentro de este estudio fueron los siguientes:

- G:** Grado de confinamiento hidráulico
- O:** Ocurrencia del sustrato suprayacente
- D:** Distancia al nivel del agua subterránea

Los valores son dados según clasificación de Foster et al. (2002), como se observa en la tabla 9.

**Tabla 11 Método GOD**

Coordenadas		Pozo	Método			Vulnerabilidad
X	Y		G	O	D	
528948	9796642	1	1	0.9	0.9	0.81
528961	9796628	2	1	0.9	0.9	0.81
529164	9796335	3	0.8	0.7	0.8	0.448
529243	9796252	4	0.6	0.7	0.8	0.336
529538	9796360	5	0.6	0.7	0.8	0.336
529561	9796513	6	0.8	0.8	0.8	0.512
530150	9796584	7	0.8	0.8	0.8	0.512
530582	9796348	8	0.6	0.7	0.8	0.336
530929	9796418	9	0.6	0.7	0.8	0.336
530390	9796411	10	0.6	0.7	0.8	0.336
531594	9796770	11	1	0.9	0.8	0.72
532000	9797019	12	0.6	0.9	0.8	0.432

Fuente: Autor

Las vulnerabilidades obtenidas que se obtuvieron fue en un rango de 0.336 a 0.95, categoría que según la tabla que muestra el Método de GOD indica que para dicho valores la contaminación de los acuíferos en el sector de estudio va desde media hasta extrema. Valores obtenidos según el método de GOD han permitido establecer un mapa que muestra el grado de vulnerabilidad, representado aquellos lugares con mayor contaminación, como se muestra en la figura 34.

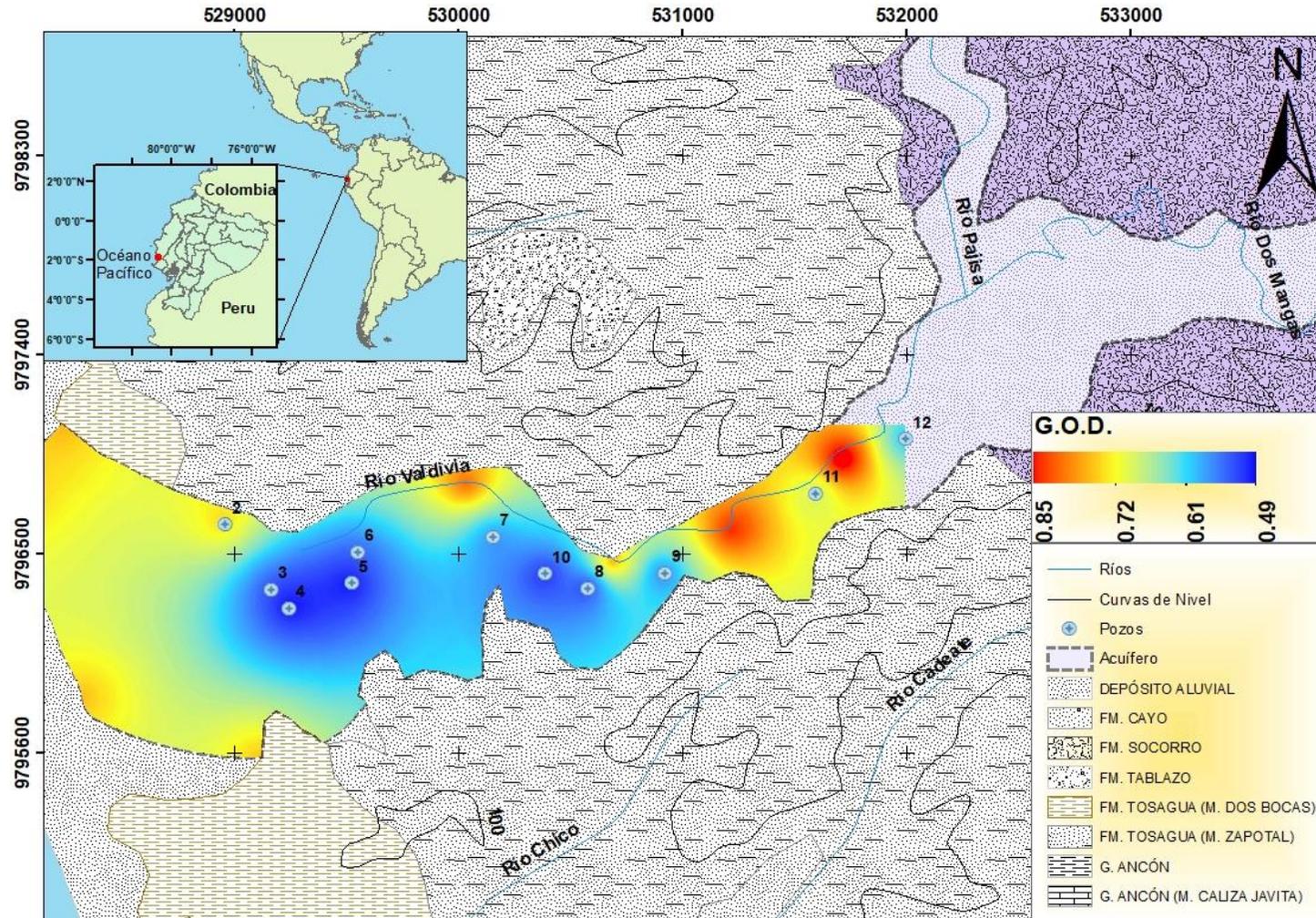


Figura 33 Mapa de vulnerabilidad del acuífero costero Manglaralto  
Fuente: Autor

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 CONCLUSIONES**

Se elaboró una propuesta de diseño, construcción y acondicionamiento de un pozo de agua, alcanzando una profundidad establecida de 30 m, con un diámetro de 0.80 m, el sistema de perforación utilizado fue de percusión o rotación, dejando libre el material extraído por el trícono. Se diseñó con una cubierta para protección de 0.80 m, el cerramiento para proteger la calidad de suelo del acuífero fue metálico con mediciones: 3m largo, 3m ancho, 3m de alto.

La bomba de succión fue ubicada a 25 m de profundidad, el acondicionamiento del contra piso fue de hormigón simple con una altura de 40 Cm, se utilizó tubería PVC de 12" para el entubamiento correspondientes a la siguientes medidas: 6 metros de longitud y 34 cm de ancho, se procedió a ser ranurada a los lados laterales con una distancia de 5 cm, a la vez grava que su uso es de filtro siendo su diámetro de 6-8mm. Los niveles estáticos fueron medidos durante un periodo de un año: comprende época lluviosa y seca, para determinar cómo se encuentra el nivel en cada pozo, los niveles en los pozos fueron descendiendo por el consumo y la falta de precipitaciones

Los SEV fueron realizados con el equipo: Terrameter SAS 4.000, el cual identifica el tipo de terreno: superficie areno-limoso 30Ωm- 55Ωm, superficie limo-arenosa 5Ωm-25Ωm, material poco permeable (arcillas) 3Ωm-45Ωm, material muy permeable (gravas y arenas) 350Ωm-850Ωm, y basamento 1.000Ωm-3.500Ωm; con lo cual se procedió a configurar el Mapa de Vulnerabilidad de Manglaralto, mediante el método de GOD.

Se realizó la perforación del pozo de agua n: 11, según fig.19, para satisfacer la demanda de agua a los habitantes de la comunidad de Manglaralto; con el propósito de limpieza del pozo se usó una bomba de agua, a continuación se usó un compresor con el objetivo que los

sedimentos precipiten, para la protección del pozo de agua se realizó una base de hormigón armado con una altura de 40 cm, y se construyó un pilar de hormigón con una altura de 101 cm y 80 cm de ancho, en la parte posterior se colocó un tubo de 2" PVC para ser alimentado de grava que es utilizado como filtro con tamaño promedio 0.3-0.4mm, según el desgaste de la misma por el ascenso y descenso del agua. En la base superior se colocó un tubo de extracción en forma de codo acoplado a una extensión de 2", en la cual se instaló: neplos que sostienen manómetros de presión, llaves y tubos para el bombeo del agua, a continuación se realizó un cerramiento con el objetivo de proteger el pozo de cualquier contaminante al suelo, así se pudo obtener esta batería para el consumo de los habitantes de Manglaralto en las coordenadas X: 531594 Y: 9796770. El pozo de agua pasó a formar parte de la batería de pozos de la JAAPMAN con un caudal de 7 litros por segundo.

La evolución temporal de los niveles estáticos de los pozos se encuentran en constante disminución de la columna de agua (aumento de la profundidad del nivel estático del agua respecto a la superficie del terreno), debido al aumento de la demanda de agua por las comunas adscritas a las JAAPMAN. El pozo de agua n: 9 se presencié el menor nivel de agua durante el estudio con una distancia de 17.22 m. Datos in situ muestran que la salinidad en el lugar se encuentra dentro de los criterios de calidad en un rango de 0.4 a 0.8, siendo esta categoría aceptable para el consumo de los pobladores del sector.

Se elaboró el mapa de vulnerabilidad del acuífero costero Manglaralto según el método de GOD, que se presenta en la fig. 33. Se identificaron los extremos más vulnerables del pozo n: 11 siendo el margen derecho superior al cauce del río, colindando con el pozo n: 12; a la vez al margen inferior izquierdo que se encuentra colindando con el pozo n: 9 del acuífero costero Manglaralto. Mientras que el pozo n: 7 se encuentra en

un rango medio vulnerable donde pasa el rio Valdivia, ubicados entre el pozo n: 6 y n: 7 tenemos un grado de vulnerabilidad: media a alta.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

Para los estudios a futuro se recomienda realizar otro tipo de método geofísico que proporcione mayor información en profundidades; estudios de tomografías eléctricas verticales serían ideales para la obtención de más información.

Seguir un análisis mensual a detalle de la evolución temporal de los pozos ubicados en el sector de Manglaralto permitirá llevar un control del nivel de agua en el acuífero evitando la sobreexplotación del mismo.

Se debe considerar realizar mediciones in situ mensualmente según el grado de salinidad presente en el pozo que determina la calidad y disposición del agua del pozo para su distribución a los pobladores del sector.

Implementar las correctas medidas de seguridad ambiental registradas en Senagua que reducen las posibilidades de contaminación de los pozos. Además se sugiere identificar factores de control y protección urgentes para la sostenibilidad del recurso hídrico en Manglaralto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amado, J. (1990). *Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Baja del Río Manglaralto Provincia del Guayas*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Arias, M. (2011). *Estudio hidrogeológico regional de la cuenca del río Frío*. San José, Costa Rica: Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Universidad de Costa Rica.
- Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Bellido, A. (2004). *Manual de perforación, Manual de pozos y equipamientos con bombas manuales*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- Bellino, N. (2012). *Aguas subterráneas. Conocimiento y explotación*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Belmonte, S., Bautista, A., Navarro, S., & Aragón, M. (2000). Determinación de la vulnerabilidad de acuíferos con los métodos AVI, GOD Y DRASTIC. *XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1-4.
- Carbonell, A. (1993). *Groundwater vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty*. Washington DC: National Research Council.
- Centro del Agua y Desarrollo Sustentable (CADS-ESPOL). (2013). *Proyecto de Evaluación de Vulnerabilidad y Reducción de Riesgo de Desastres a Nivel Municipal en el Ecuador ECHO/DIP/BUD/2011/91002. Análisis de vulnerabilidad del cantón Santa Elena*. Quito: Red Nacional de Investigación y Educación del Ecuador.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño-CIIFEN. (2017). Obtenido de <http://www.ciifen.org/>
- Comité Nacional para Estudio del Fenómeno de El Niño de Ecuador (Erfen-Ecuador). (2017). Obtenido de <http://www.inocar.mil.ec/erfen/index.php>
- Davis, S., & De Wiest, R. (1966). *Hydrogeology*. New York: John Wiley and Sons.

- Del Pezo, P. (20 de Noviembre de 2015). *Por agua cerraron vía en Manglaralto*. Recuperado el 3 de Agosto de 2017, de Diario El Universo: <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/11/20/nota/5250081/agua-cerraron-manglaralto>
- Díaz, E., Romero, E., Boschetti, N., & Duarte, O. (2009). Vulnerabilidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Feliciano. Entre Ríos. Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 533-542.
- Domínguez, I., Torres, W., Restrepo, I., Paterson, C., & Gowing, J. (2016). Self-Supply as an Alternative Approach to Water Access in Rural Scattered Regions. Evidence from a Rural Microcatchment in Colombia. (Pontificia Universidad Javeriana, Ed.) *Ingeniería y Universidad*, 175-195.
- FAO & Consejo Mundial del Agua-CMA. (2015). *Hacia un futuro con seguridad hídrica y alimentaria*. Roma: Naciones Unidas.
- Fernandez, F. P. (s.f.). *Acuíferos Costeros e Intrusión Marina*. Obtenido de <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro34/pdf/lib34/14.pdf>
- Foster, S. (1987). *Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy*. The Hague, Netherlands: The Netherlands Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2002). Propuestas Metodológicas para la Protección del Agua Subterránea. En *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guías para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales* (págs. 15-34). Washington DC: Banco Mundial.
- General Assembly. (21 de Octubre de 2015). *70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations. Recuperado el 4 de Enero de 2016, de Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S)
- Gil Montes, J. (2008). *Recursos Hidrogeológicos*. Venezuela: Instituto de Ciencias de la Tierra.

- Gleick, P. (1996). Water resources. En S. Schneider, *Encyclopedia of Climate and Weather* (págs. 817-823). New York: Oxford University Press.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Elena. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Cantón Santa Elena 2014-2019*. Quito: Sistema Nacional de Información.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Manglaralto. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2016*. Santa Elena: Fundación Santiago de Guayaquil.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Manglaralto. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2014-2019*. Manglaralto: Sistema Nacional de Información. Recuperado el 1 de Noviembre de 2015, de Sistema Nacional de información.
- Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquia Manglaralto. (2017). *Datos Geográficos*. Obtenido de <http://manglaralto.gob.ec/index.php/ct-menu-item-17/ct-menu-item-35>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2021*. Santa Elena: Fundación Santiago de Guayaquil.
- GRID-Arendal, UNEP, UN-HABITAT & UN Water. (2010). *Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment*. (E. Corcoran, C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn, & H. Savelli, Edits.) Norway: United Nations Environment Programme-UNEP, UN-HABITAT, GRID-Arendal.
- Herrera, G. (2012). *La participación en el desarrollo local sostenible. El caso de la gestión del agua en la provincia de Santa Elena*. Huelva, España: Universidad de Huelva.
- Herrera, G. (2016). *Estudio para un Modelo de Gestión de un Acuífero Costero, mediante Metodologías Participativas y Análisis Geoestadístico en el marco del Desarrollo Local. Manglaralto, Ecuador*. Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- Herrera, G., & Flores, D. (2011). Aspectos socioeconómicos de la gestión del agua y el turismo en las comunas Olón y Manglaralto de la provincia de Santa Elena (Ecuador). *Congreso Internacional Cooperación transfronteriza Andalucía-Algarve-Alentejo, Universidad de Huelva*, 250-262.
- Hispagua-Sistema Español de Información sobre el Agua. (2017). *Contaminación de acuíferos*. Recuperado el 3 de Agosto de 2017, de Hidrogeología: <http://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia#9>
- Hoekstra, A. Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. (J. Marques, & F. Müller, Edits.) *Ecological Indicators*, 66, 564-573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>.
- INAMHI . (2010). *Anuario Meteorológico 2008. Nro. 48*. Quito: Dirección de Gestión Meteorológica.
- INAMHI. (2012). *Anuario Meteorológico 2010 N°50*. Quito: Dirección de Gestión Meteorológica.
- INAMHI. (2014). *Anuario Meteorológico 2011 N°51*. Quito: INAMHI.
- INAMHI. (2015). *Anuario Meteorológico 2012 N°52*. Quito: INAMHI.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Sistema Integrado de Consultas*. (D. d. Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), Editor) Recuperado el 3 de Agosto de 2017, de VII Censo de Población y VI de Vivienda: <http://redatam.inec.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI. (2017). Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- Instituto Oceanográfico de la Armada-INOCAR. (2017). Obtenido de <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php>
- Macneill, M. (20 de Julio de 2011). *IAEA Helps Parched Santa Elena Find Water*. Recuperado el 2017, de <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-helps-parched-santa-elena-find-water>
- Margat, J. (1968). *Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution* . Orléans: Bases de la Cartographie .
- Martín, M., Calvo, M., García, M., García, E., Morcillo, J., Reyero, C., & Vidal, M. (2006). *Escorrentía subterránea*. Recuperado el 3 de Agosto de 2017, de

Universidad Complutense de Madrid:  
<https://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/index.html>

Ministerio de Salud Pública-MSP . (2017). Obtenido de <http://www.salud.gob.ec/>

Ministerio del Ambiente-MAE. (2017). Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/>

Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Ordoñez, J. (2011). *Aguas Subterráneas-Acuíferos. Cartilla Técnica “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico”*. Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma: Naciones Unidas.

Organización Mundial de la Salud-OMS & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia-UNICEF. (2017). *Water and Sanitation for Health Water and Sanitation for Health. A practical guide for improving quality of care through water, sanitation and hygiene in health care facilities* . Geneva: Naciones Unidas. Obtenido de Centro de Prensa: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2006). *Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua*. Nueva York: Naciones Unidas.

Rosales Ortega, E. (19 de Octubre de 2015). *Problemas en Manglaralto*. Recuperado el 3 de Agosto de 2017, de Diario El Universo: <http://www.eluniverso.com/opinion/2015/10/19/nota/5192870/problemas-manglaralto>

Rueda, O., & Betancur, T. (2006). Evaluación de la vulnerabilidad del agua subterránea en el Bajo Cauca Antioqueño. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 71-88.

Secretaría del Agua. (2016). *ACUERDO No. 2016 - 1400 INSTRUCTIVO PARA CONFORMACIÓN Y LEGALIZACIÓN DE JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO; JUNTAS ADMINISTRADORAS*

*DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL; Y, JUNTAS DE SEGUNDO Y TERCER GRADO.* Quito: República del Ecuador.

- Secretaría Nacional del Agua-SENAGUA. (2017). Obtenido de <http://www.agua.gob.ec/>
- Setegn, S., Melesse, A., Haiduk, A., Webber, D., Wang, X., & McClain, M. (2014). Modeling hydrological variability of fresh water resources in the Rio Cobre watershed, Jamaica. (E. Cammeraat, A. de Roo, M. Egli, P. Kinnell, L. Owen, K. Stahr, & D. e. Yaalon, Edits.) *Catena*, 120, 81-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.005>.
- Subsecretaría de Agua potable y saneamiento básico. (2003). *Guías técnicas para la reducción de la vulnerabilidad en los sistemas de agua potable y saneamiento*. Tegucigalpa, Honduras: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivenda.
- Tapia, D. (Diciembre de 2008). *Perforación Manual de Pozos Profundos usando el método EMAS-AYNI*. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- U.S. Geological Survey (USGS) . (2 de Diciembre de 2016). *The Water Cycle: Freshwater Storage*. Obtenido de The Water Cycle - USGS Water Science School: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclefreshstorage.html>
- United Nations World Water Assessment Programme. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. Paris: UNESCO.
- Vélez, M. (1999). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Waller, R. (1982). *Ground Water and the Rural Homeowner*. Denver: U.S. Geological Survey.
- Winter, T., Harvey, J., Franke, O., & Alley, W. (1998). *U.S. Geological Survey circular: 1139. Ground Water and Surface Water. A Single Resource*. Denver: U.S. Geological Survey.
- Zhou, Q., Yang, S., Zhao, C., Cai, M., Lou, H., Luo, Y., & Hou, L. (2016). Development and implementation of a spatial unit non-overlapping water stress index for water scarcity evaluation with a moderate spatial

resolution. (J. Marques, & F. Müller, Edits.) *Ecological Indicators*, 69, 422-433. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.006>.

# **ANEXOS**

*Anexo 1. Datos en campo SEV 1*

Estación	Coordenadas	531580	9796747	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	9.54
2	1.47	0.20	16.66	10.30
3	2.15	0.20	35.99	10.00
4	3.16	0.20	78.11	11.45
5	4.64	0.50	168.78	15.58
6	4.64	0.20	66.85	10.43
7	6.81	0.50	363.92	21.38
8	6.81	0.50	144.91	12.10
9	10.00	0.50	313.37	17.16
10	14.70	0.50	678.08	42.81
11	14.70	2.00	166.58	26.27
12	21.50	0.50	1451.42	66.66
13	21.50	2.00	359.91	36.37
14	31.60	2.00	781.13	77.62
15	46.40	2.00	1687.79	141.44
16	46.40	5.00	668.52	36.13
17	68.10	2.00	3639.24	91.06
18	68.10	5.00	1444.10	80.04

*Fuente: Autor*

*Anexo 2. Datos en campo SEV 2*

Estación	Coordenadas		Constante K	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2		
1	1.00	0.20	7.54	14.38
2	1.47	0.20	16.66	14.25
3	2.15	0.20	35.99	13.58
4	3.16	0.20	78.11	12.37
5	4.64	0.50	168.78	8.83
6	4.64	0.20	66.85	6.89
7	6.81	0.50	363.92	7.71
8	6.81	0.50	144.91	7.30
9	10.00	0.50	313.37	5.41
10	14.70	0.50	678.08	7.47
11	14.70	2.00	166.58	15.15
12	21.50	0.50	1451.42	27.45
13	21.50	2.00	359.91	16.90
14	31.60	2.00	781.13	64.88
15	46.40	2.00	1687.79	71.58
16	46.40	5.00	668.52	41.26
17	68.10	2.00	3639.24	115.72
18	68.10	5.00	1449.10	36.57

*Fuente: Autor*

*Anexo 3. Datos en campo SEV 3*

Estación	Coordenadas	532195	9797160	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	9.023
2	1.47	0.20	16.66	11.12
3	2.15	0.20	35.99	9.39
4	3.16	0.20	78.11	10.83
5	4.64	0.50	168.78	11.40
6	4.64	0.20	66.85	12.46
7	6.81	0.50	363.92	8.97
8	6.81	0.50	144.91	6.67
9	10.00	0.50	313.37	8.05
10	14.70	0.50	678.08	6.61
11	14.70	2.00	166.58	16.05
12	21.50	0.50	1451.42	46.52
13	21.50	2.00	359.91	44.59
14	31.60	2.00	781.13	25.32
15	46.40	2.00	1687.79	27.10
16	46.40	5.00	668.52	15.35
17	68.10	2.00	3639.24	43.67
18	68.10	5.00	1449.10	13.89
19	100.00	5.00	3133.75	23.35
20	100.00	10.00	1555.09	70.47

*Fuente: Autor*

*Anexo 4. Datos en campo SEV 4*

Estación	Coordenadas	530428	9796448	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	28.01
2	1.47	0.20	16.66	21.58
3	2.15	0.20	35.99	13.58
4	3.16	0.20	78.11	9.55
5	4.64	0.50	168.78	12.92
6	4.64	0.20	66.85	8.40
7	6.81	0.50	363.92	22.71
8	6.81	0.50	144.91	6.94
9	10.00	0.50	313.37	35.54
10	14.70	0.50	678.08	50.73
11	14.70	2.00	166.58	5.11
12	21.50	0.50	1451.42	101.75
13	21.50	2.00	359.91	30.31
14	31.60	2.00	781.13	72.07
15	46.40	2.00	1687.79	12.62
16	46.40	5.00	668.52	3.33
17	68.10	2.00	3639.24	108.88
18	68.10	5.00	1449.10	54.20
19	100.00	5.00	3133.75	70.34
20	100.00	10.00	1555.09	46.53

*Fuente: Autor*

*Anexo 5. Datos en campo SEV 5*

Estación	Coordenadas		532382	9797039	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K		
1	1.00	0.20	7.54	7.18	
2	1.47	0.20	16.66	5.83	
3	2.15	0.20	35.99	6.33	
4	3.16	0.20	78.11	7.93	
5	4.64	0.50	168.78	9.76	
6	4.64	0.20	66.85	6.20	
7	6.81	0.50	363.92	20.85	
8	6.81	0.50	144.91	9.41	
9	10.00	0.50	313.37	17.58	
10	14.70	0.50	678.08	35.66	
11	14.70	2.00	166.58	12.66	
12	21.50	0.50	1451.42	71.23	
13	21.50	2.00	359.91	22.91	
14	31.60	2.00	781.13	47.85	
15	46.40	2.00	1687.79	101.65	
16	46.40	5.00	668.52	54.64	
17	68.10	2.00	3639.24	231.75	
18	68.10	5.00	1449.10	101.14	

Fuente: Autor

*Anexo 6. Datos en campo SEV 6*

Estación	Coordenadas		531433	9796630	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	Resistividad	
1	1.00	0.20	7.54	5.38	
2	1.47	0.20	16.66	25.07	
3	2.15	0.20	35.99	23.77	
4	3.16	0.20	78.11	22.82	
5	4.64	0.50	168.78	22.91	
6	4.64	0.20	66.85	18.25	
7	6.81	0.50	363.92	30.65	
8	6.81	0.50	144.91	46.52	
9	10.00	0.50	313.37	25.57	
10	14.70	0.50	678.08	43.87	
11	14.70	2.00	166.58	19.04	
12	21.50	0.50	1451.42	95.94	
13	21.50	2.00	359.91	31.00	
14	31.60	2.00	781.13	71.37	
15	46.40	2.00	1687.79	95.51	
16	46.40	5.00	668.52	43.30	
17	68.10	2.00	3639.24	190.51	
18	68.10	5.00	1449.10	89.03	
19	100.00	5.00	3133.75	124.93	
20	100.00	10.00	1555.09	103.27	

*Fuente: Autor*

*Anexo 7. Datos en campo SEV 7*

Estación	Coordenadas	531369	9796543	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	37.31
2	1.47	0.20	16.66	37.54
3	2.15	0.20	35.99	29.79
4	3.16	0.20	78.11	27.99
5	4.64	0.50	168.78	31.09
6	4.64	0.20	66.85	29.17
7	6.81	0.50	363.92	38.14
8	6.81	0.50	144.91	32.07
9	10.00	0.50	313.37	36.53
10	14.70	0.50	678.08	54.97
11	14.70	2.00	166.58	26.58
12	21.50	0.50	1451.42	95.59
13	21.50	2.00	359.91	30.13
14	31.60	2.00	781.13	57.64
15	46.40	2.00	1687.79	90.60
16	46.40	5.00	668.52	50.38
17	68.10	2.00	3639.24	125.68
18	68.10	5.00	1449.10	99.39
19	100.00	5.00	3133.75	179.62
20	100.00	10.00	1555.09	127.57

*Fuente: Autor*

**Anexo 8. Datos en campo SEV 8**

Estación	Coordenadas	531473	9796546	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	30.35
2	1.47	0.20	16.66	27.20
3	2.15	0.20	35.99	28.96
4	3.16	0.20	78.11	30.77
5	4.64	0.50	168.78	32.73
6	4.64	0.20	66.85	32.47
7	6.81	0.50	363.92	42.53
8	6.81	0.50	144.91	32.49
9	10.00	0.50	313.37	38.98
10	14.70	0.50	678.08	60.84
11	14.70	2.00	166.58	22.62
12	21.50	0.50	1451.42	110.9
13	21.50	2.00	359.91	41.73
14	31.60	2.00	781.13	70.66
15	46.40	2.00	1687.79	135.70
16	46.40	5.00	668.52	61.12
17	68.10	2.00	3639.24	236.60
18	68.10	5.00	1449.10	106.15

Fuente: Autor

**Anexo 9. Datos en campo SEV 9**

Estación	Coordenadas	529345	9796304	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	20.61
2	1.47	0.20	16.66	15.48
3	2.15	0.20	35.99	12.40
4	3.16	0.20	78.11	12.14
5	4.64	0.50	168.78	8.40
6	4.64	0.20	66.85	12.61
7	6.81	0.50	363.92	7.89
8	6.81	0.50	144.91	5.34
9	10.00	0.50	313.37	5.98
10	14.70	0.50	678.08	14.87
11	14.70	2.00	166.58	17.12
12	21.50	0.50	1451.42	19.87
13	21.50	2.00	359.91	10.62
14	31.60	2.00	781.13	24.69
15	46.40	2.00	1687.79	7.36
16	46.40	5.00	668.52	46.13
17	68.10	2.00	3639.24	70.23
18	68.10	5.00	1449.10	64.27
19	100.00	5.00	3133.75	109.55
20	100.00	10.00	1555.09	90.44

Fuente: Autor

**Anexo 10. Datos en campo SEV 10**

Estación	Coordenadas	529356	9796283	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	29.29
2	1.47	0.20	16.66	22.84
3	2.15	0.20	35.99	19.26
4	3.16	0.20	78.11	19.10
5	4.64	0.50	168.78	14.33
6	4.64	0.20	66.85	16.67
7	6.81	0.50	363.92	17.00
8	6.81	0.50	144.91	17.34
9	10.00	0.50	313.37	27.35
10	14.70	0.50	678.08	66.28
11	14.70	2.00	166.58	38.79
12	21.50	0.50	1451.42	115.83
13	21.50	2.00	359.91	56.56
14	31.60	2.00	781.13	84.90
15	46.40	2.00	1687.79	135.50
16	46.40	5.00	668.52	76.31
17	68.10	2.00	3639.24	213.88
18	68.10	5.00	1449.10	165.95
19	100.00	5.00	3133.75	210.40
20	100.00	10.00	1555.09	214.83

*Fuente: Autor*

**Anexo 11. Datos en campo SEV 11**

Estación	Coordenadas		Constante K	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2		
1	1.00	0.20	7.54	40.56
2	1.47	0.20	16.66	31.03
3	2.15	0.20	35.99	20.21
4	3.16	0.20	78.11	11.60
5	4.64	0.50	168.78	8.95
6	4.64	0.20	66.85	7.67
7	6.81	0.50	363.92	10.84
8	6.81	0.50	144.91	5.28
9	10.00	0.50	313.37	8.29
10	14.70	0.50	678.08	18.57
11	14.70	2.00	166.58	10.71
12	21.50	0.50	1451.42	25.41
13	21.50	2.00	359.91	15.26
14	31.60	2.00	781.13	81.03
15	46.40	2.00	1687.79	102.36
16	46.40	5.00	668.52	63.91
17	68.10	2.00	3639.24	206.39
18	68.10	5.00	1449.10	94.28
19	100.00	5.00	3133.75	193.86
20	100.00	10.00	1555.09	81.43

*Fuente: Autor*

**Anexo 12. Datos en campo SEV 12**

Estación	Coordenadas	530289	9796522	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	19,65
2	1.47	0.20	16.66	17.17
3	2.15	0.20	35.99	15.86
4	3.16	0.20	78.11	17.23
5	4.64	0.50	168.78	19.15
6	4.64	0.20	66.85	16.56
7	6.81	0.50	363.92	4.4
8	6.81	0.50	144.91	9.43
9	10.00	0.50	313.37	10.4
10	14.70	0.50	678.08	17.05
11	14.70	2.00	166.58	12.47
12	21.50	0.50	1451.42	7.47
13	21.50	2.00	359.91	19.17
14	31.60	2.00	781.13	7.28
15	46.40	2.00	1687.79	16.26
16	46.40	5.00	668.52	7.32
17	68.10	2.00	3639.24	17.41
18	68.10	5.00	1449.10	9.74
19	100.00	5.00	3133.75	20.31
20	100.00	10.00	1555.09	27.63

*Fuente: Autor*

**Anexo 13. Datos en campo SEV 13**

Estación	Coordenadas	530428	9796448	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	21.39
2	1.47	0.20	16.66	12.14
3	2.15	0.20	35.99	8.07
4	3.16	0.20	78.11	3.22
5	4.64	0.50	168.78	3.02
6	4.64	0.20	66.85	5.33
7	6.81	0.50	363.92	3.21
8	6.81	0.50	144.91	2.04
9	10.00	0.50	313.37	4.12
10	14.70	0.50	678.08	18.20
11	14.70	2.00	166.58	28,35
12	21.50	0.50	1451.42	12.09
13	21.50	2.00	359.91	9.52
14	31.60	2.00	781.13	22.43
15	46.40	2.00	1687.79	4.42
16	46.40	5.00	668.52	26.67
17	68.10	2.00	3639.24	54.45
18	68.10	5.00	1449.10	6.84

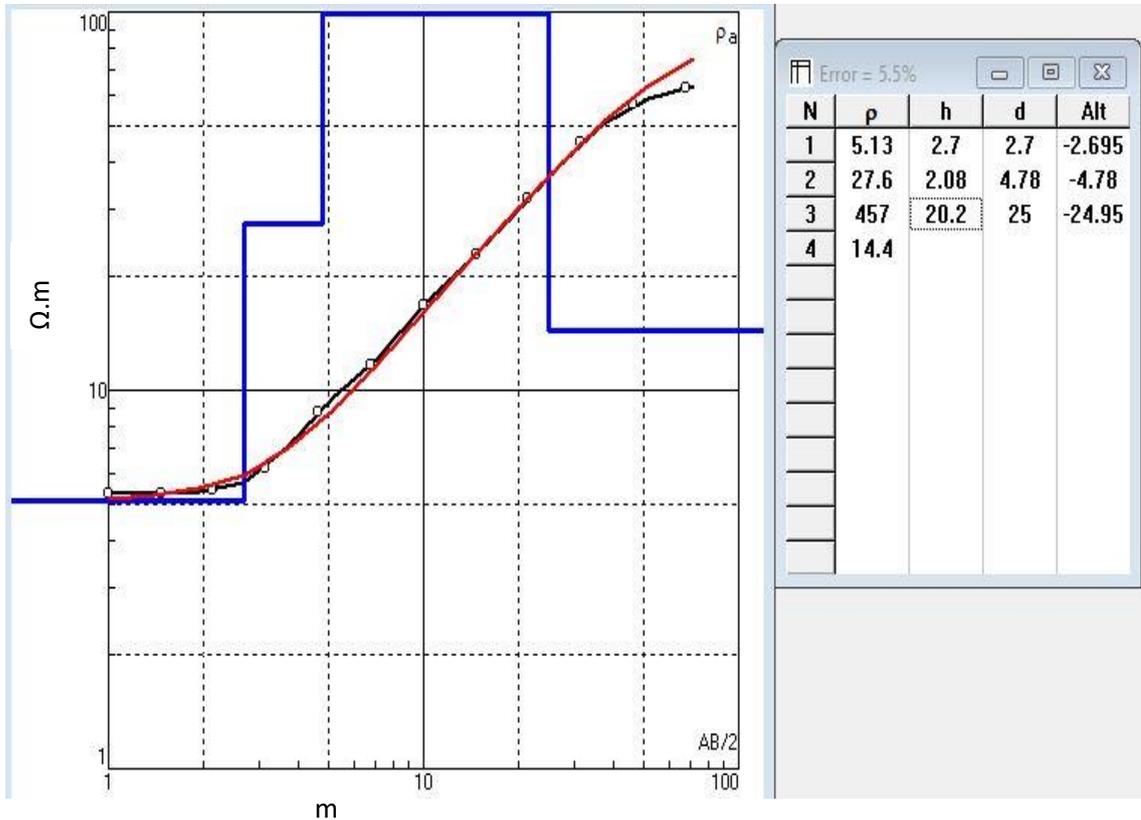
*Fuente: Autor*

**Anexo 14. Datos en campo SEV 14**

Estación	Coordenadas	530428	9796448	Resistividad
	Abertura AB/2	Abertura MN/2	Constante K	
1	1.00	0.20	7.54	28.53
2	1.47	0.20	16.66	25.41
3	2.15	0.20	35.99	20.15
4	3.16	0.20	78.11	11.75
5	4.64	0.50	168.78	12.36
6	4.64	0.20	66.85	11.09
7	6.81	0.50	363.92	11.06
8	6.81	0.50	144.91	10.09
9	10.00	0.50	313.37	12.39
10	14.70	0.50	678.08	11.75
11	14.70	2.00	166.58	11.39
12	21.50	0.50	1451.42	11.60
13	21.50	2.00	359.91	10.55
14	31.60	2.00	781.13	12.49
15	46.40	2.00	1687.79	28.32
16	46.40	5.00	668.52	16.60
17	68.10	2.00	3639.24	59.75
18	68.10	5.00	1449.10	35.99
19	100.00	5.00	3133.75	26.01
20	100.00	10.00	1555.09	67.74

*Fuente: Autor*

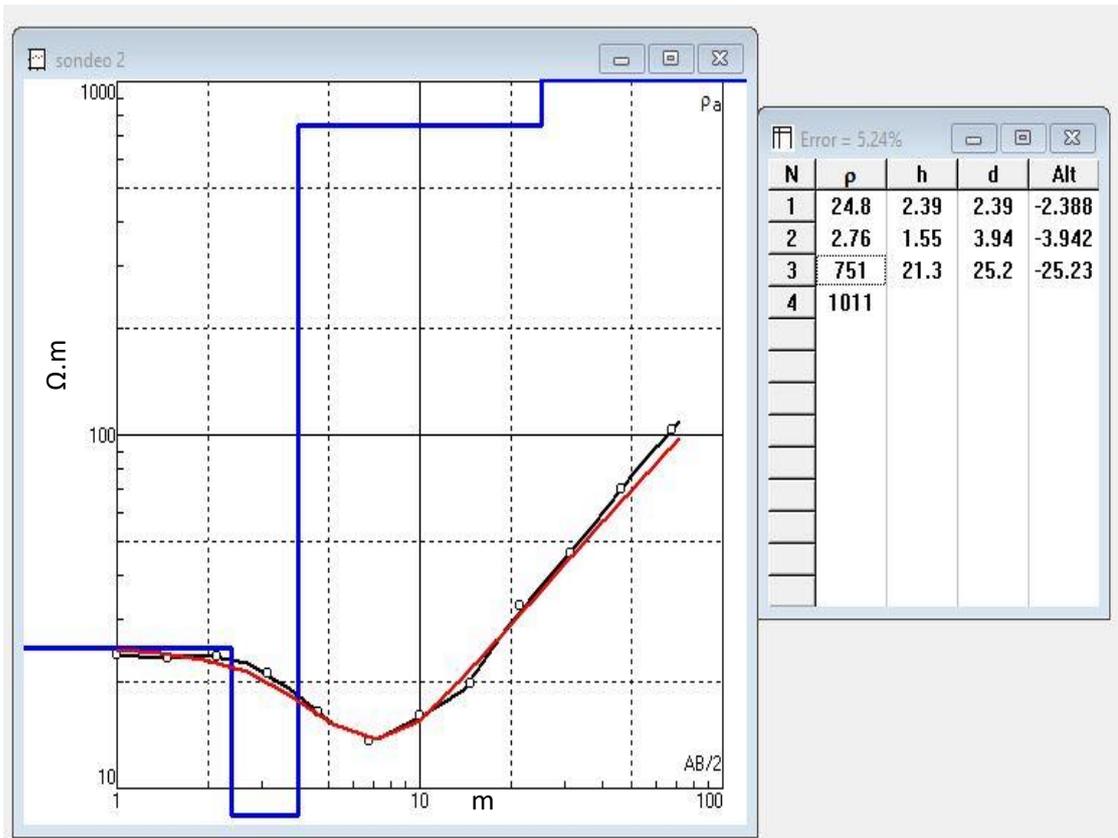
Anexo 15. Descripción SEV 1



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad ( $\Omega$ m)
1	Superficie limo arenoso	2.7	2.7	5.13
2	Material poco permeable (arcillas)	2.08	4.78	27.6
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	20.02	25	457
4	Presencia de material poco permeable			14.4

Fuente: Autor

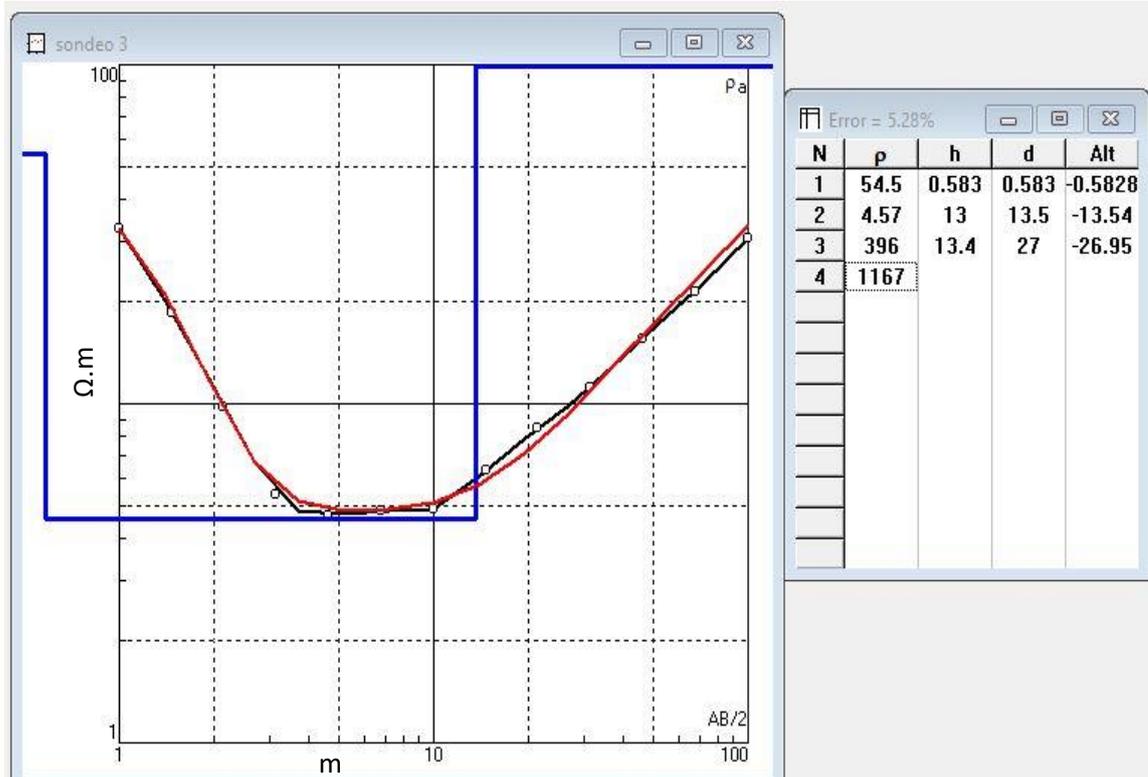
**Anexo 16. Descripción SEV 2**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie limo arenoso	2.39	2.39	24.8
2	Material poco permeable (arcillas)	1.55	3.94	2.76
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	21.3	25.2	751
4	Basamento			1011

Fuente: Autor

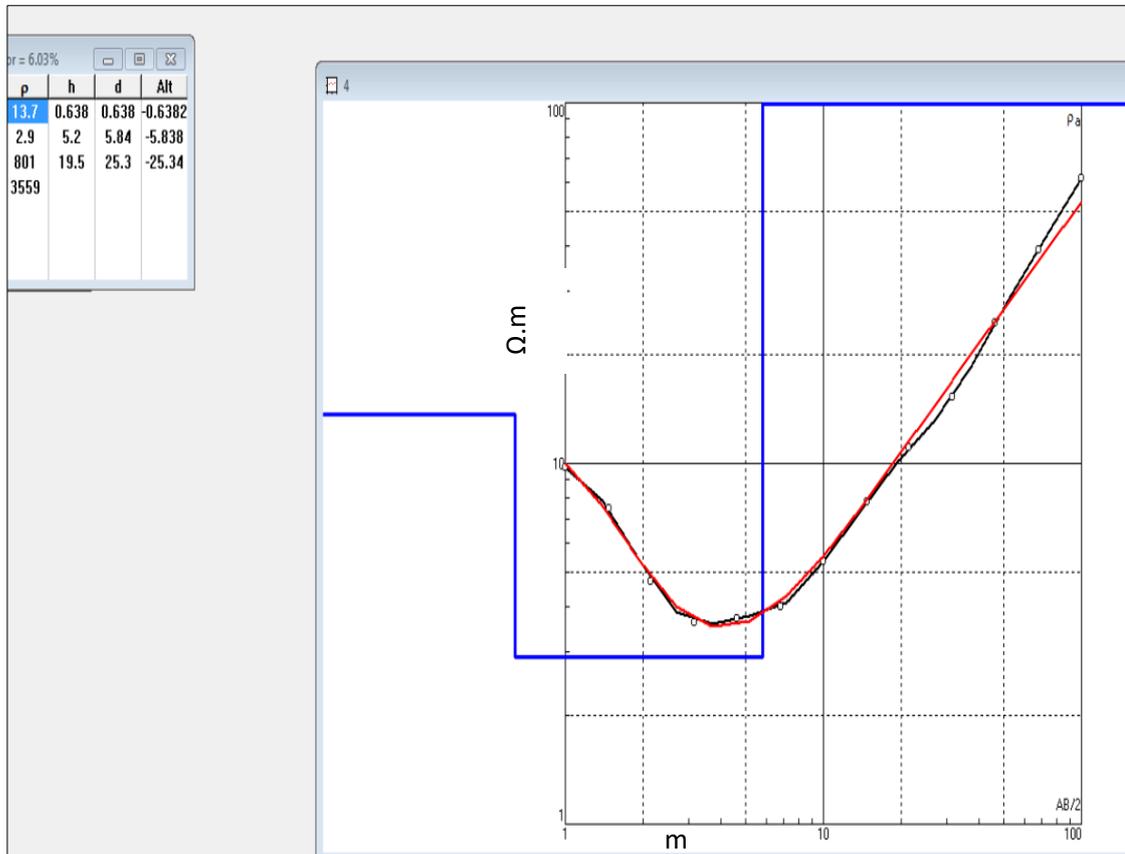
**Anexo 17. Descripción SEV 3**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie areno limosa	0.58	0.58	54.5
2	Material poco permeable (arcillas)	13	13.54	4.57
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	13.4	27	396
4	Basamento			1167

Fuente: Autor

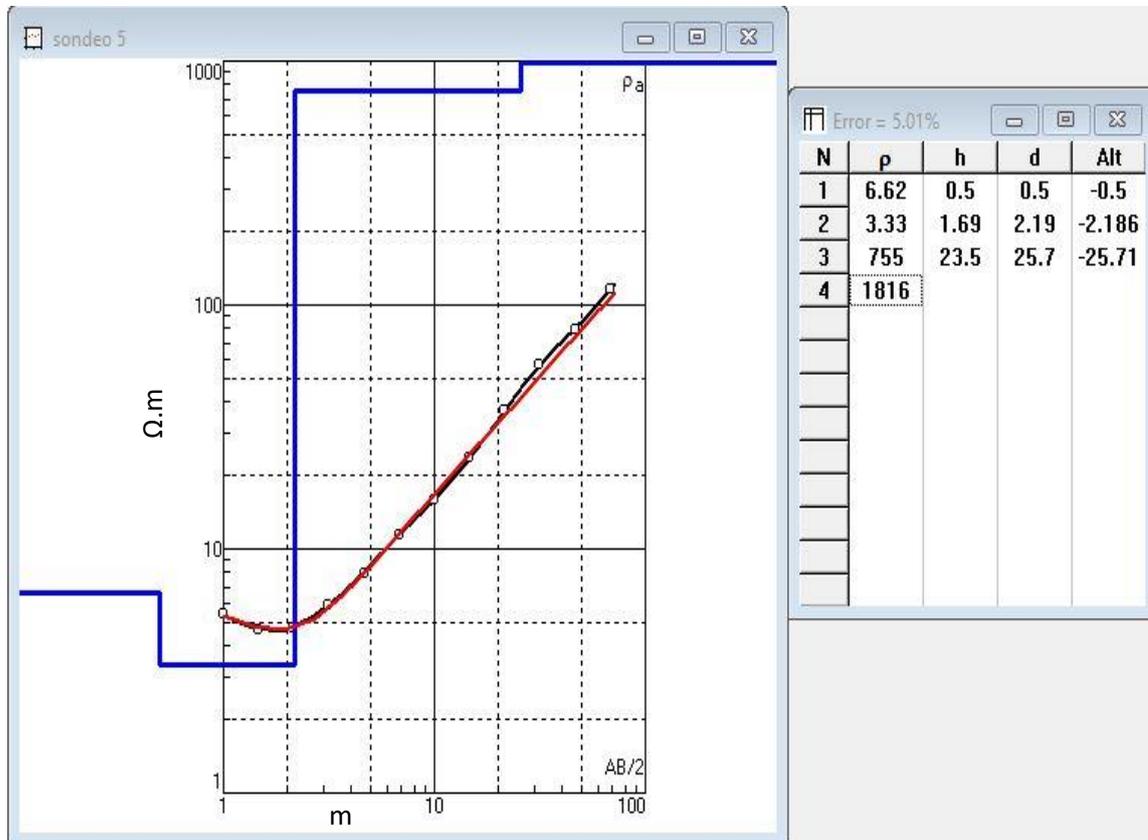
**Anexo 18. Descripción SEV 4**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie limo arenoso	0.638	0.638	13.7
2	Material poco permeable (arcillas)	5.2	5.84	2.9
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	19.5	25.3	801
4	Basamento			3559

Fuente: Autor

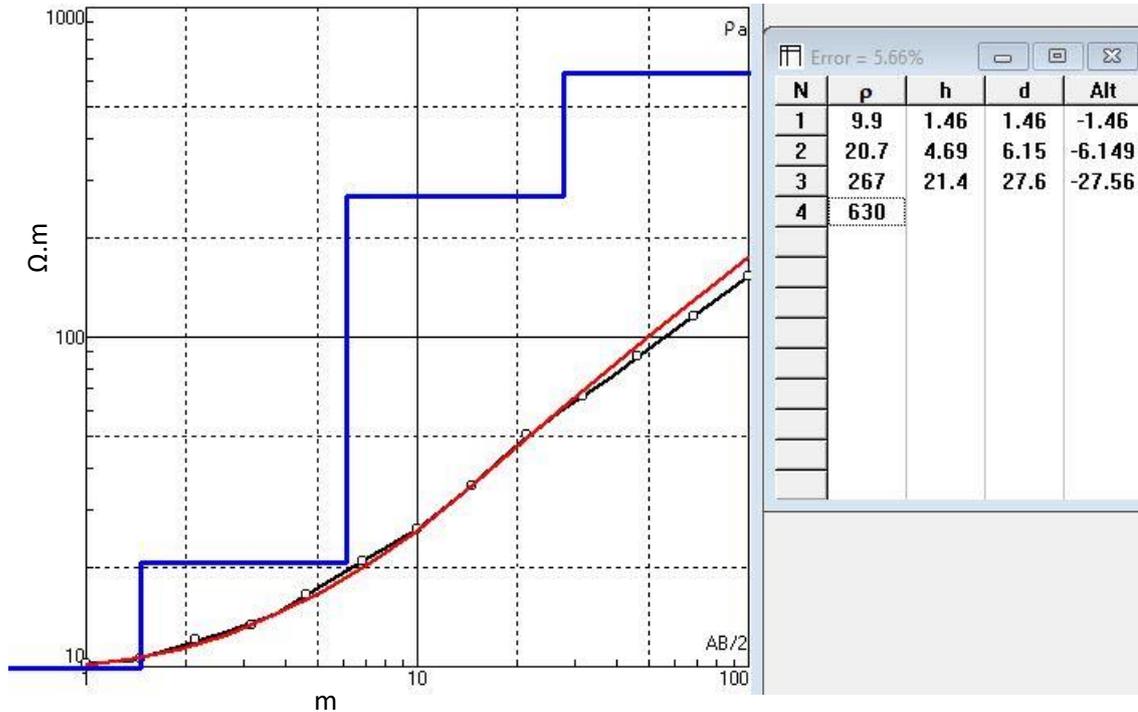
**Anexo 19. Descripción SEV 5**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie limo arenoso	0.5	0.5	6.62
2	Material poco permeable (arcillas)	1.69	2.19	3.33
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	23.5	25.7	755
4	Basamento			1816

Fuente: Autor

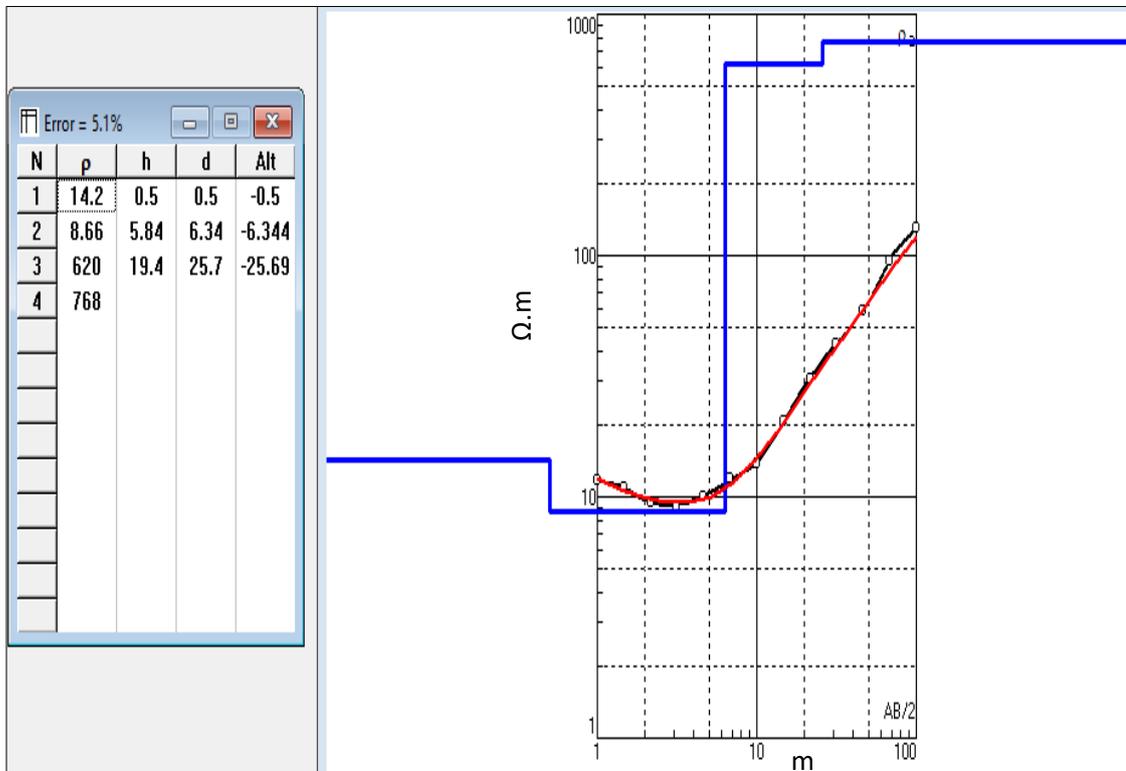
**Anexo 20. Descripción SEV 6**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie limo arenoso	1.46	1.46	9.9
2	Material poco permeable (arcillas)	4.69	6.15	20.7
3	Material permeable (gravas y arenas)	21.4	27.6	267
4	Posible continuidad de material permeable (gravas y arenas)			630

Fuente: Autor

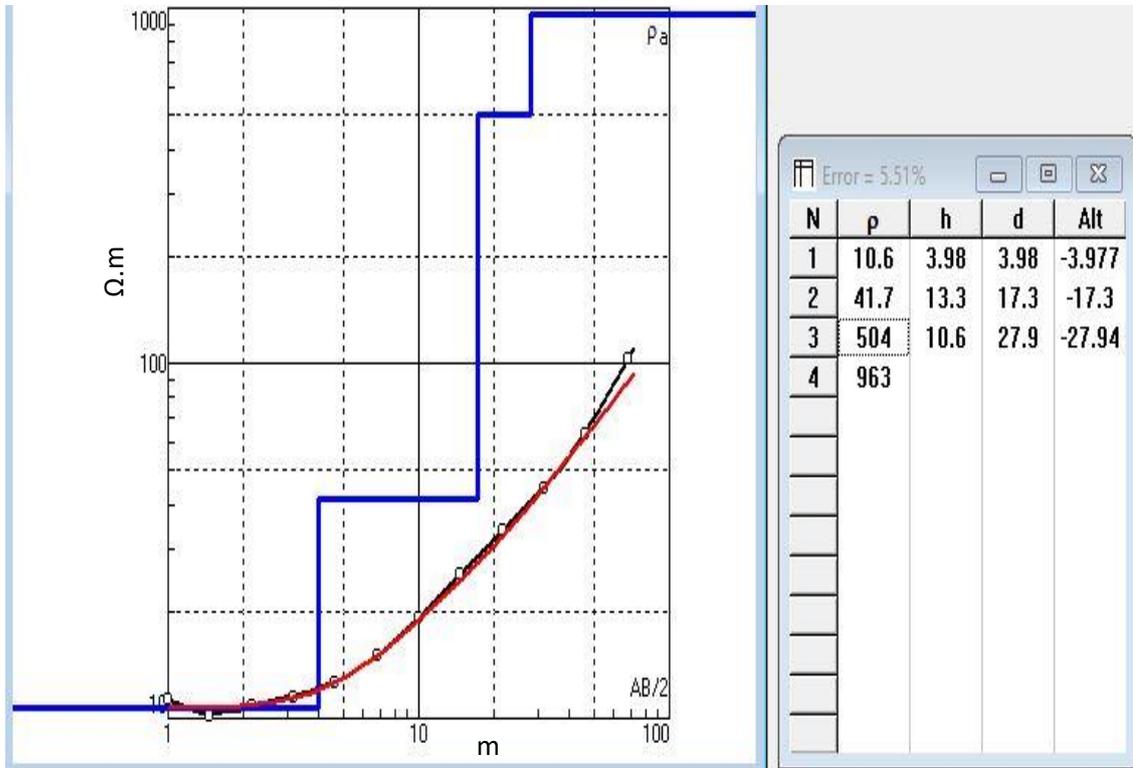
**Anexo 21. Descripción SEV 7**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie limo arenoso	0.5	0.5	14.2
2	Material poco permeable (arcillas)	5.84	6.34	8.66
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	19.4	25.7	620
4	Posible continuidad de material permeable.			768

Fuente: Autor

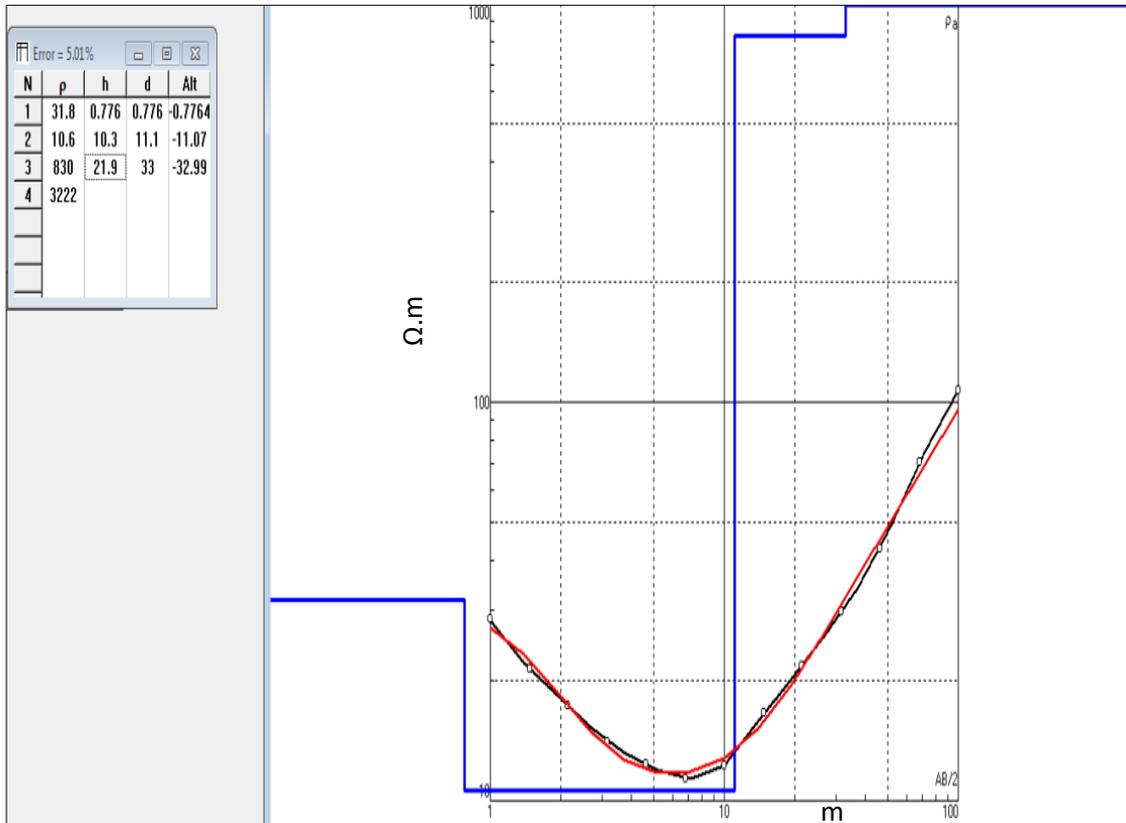
**Anexo 22. Descripción SEV 8**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie limo arenoso	3.98	3.98	10.6
2	Material poco permeable	13.3	17.3	41.7
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	10.6	27.9	504
4	Posible continuidad de material permeable			963

Fuente: Autor

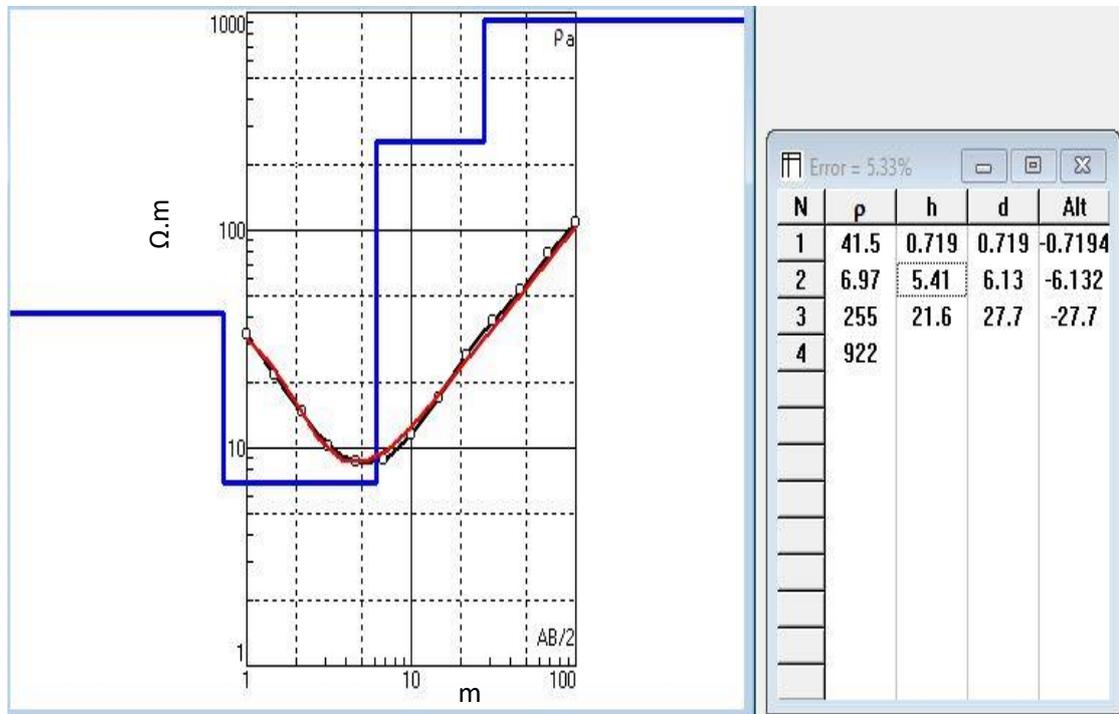
**Anexo 23. Descripción SEV 9**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie areno limosa	0.776	0.776	31.8
2	Material poco permeable (arcilla)	10.3	11.1	10.6
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	21.9	33	830
4	Basamento			3222

Fuente: Autor

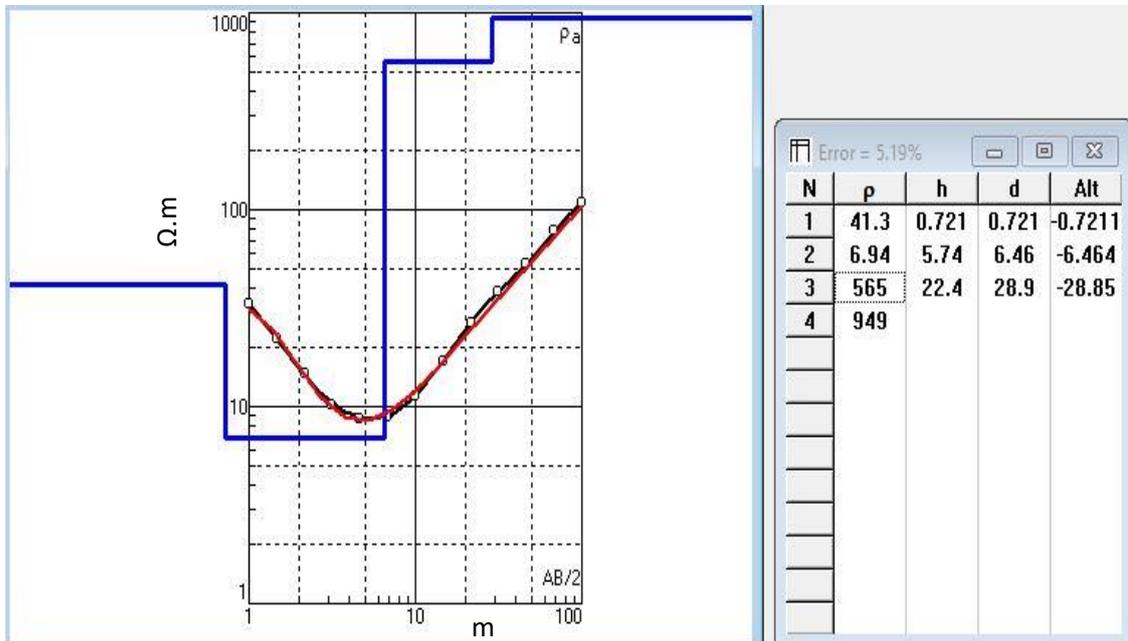
Anexo 24. Descripción SEV 10



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie areno limosa	0.719	0.719	41.5
2	Material poco permeable (arcilla)	5.41	6.13	6.97
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	21.6	27.7	255
4	Posible continuidad de material permeable			922

Fuente: Autor

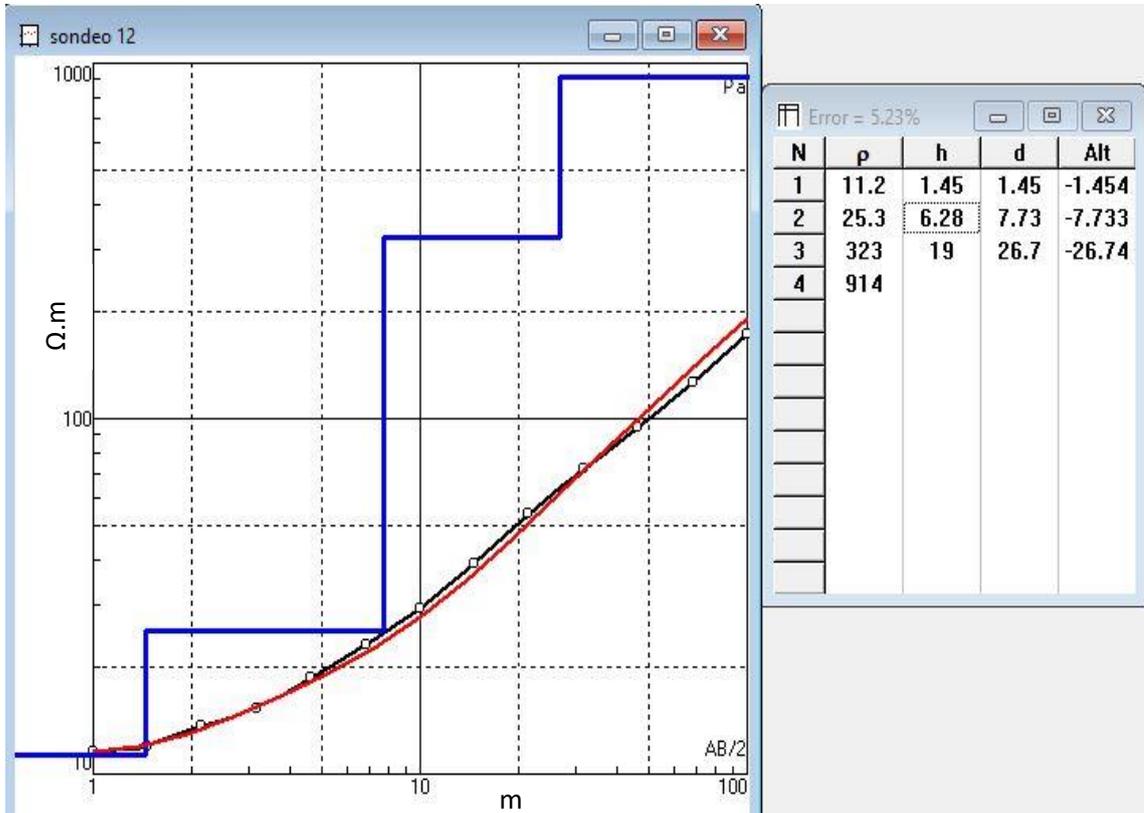
**Anexo 25. Descripción SEV 11**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie areno limosa	0.721	0.721	41.3
2	Material poco permeable (arcilla)	5.74	6.46	6.94
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	27.2	33.6	824
4	Posible continuidad de material permeable			949

Fuente: Autor

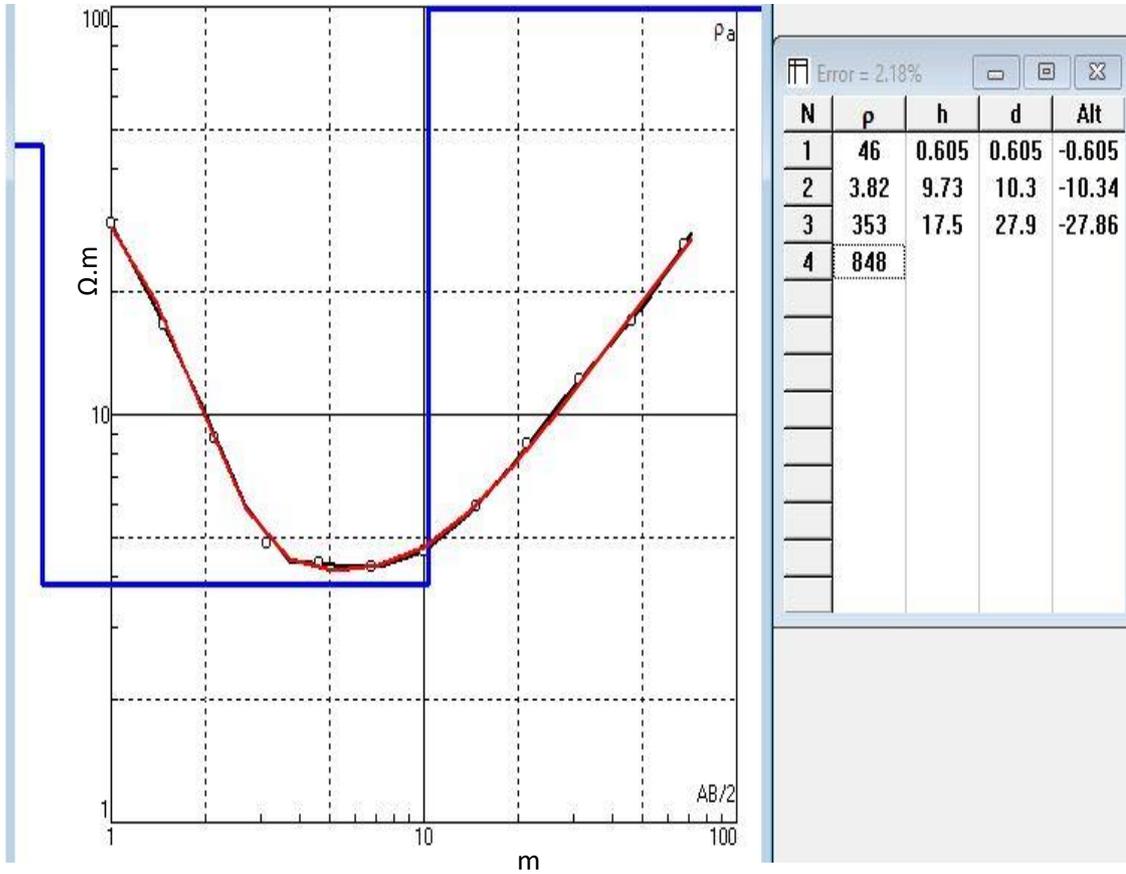
**Anexo 26. Descripción SEV 12**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie limo arenoso	1.45	1.45	11.2
2	Material poco permeable (arcilla)	6.18	7.73	25.3
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	19	26.7	323
4	Posible continuidad de material permeable (gravas y arenas)			915

Fuente: Autor

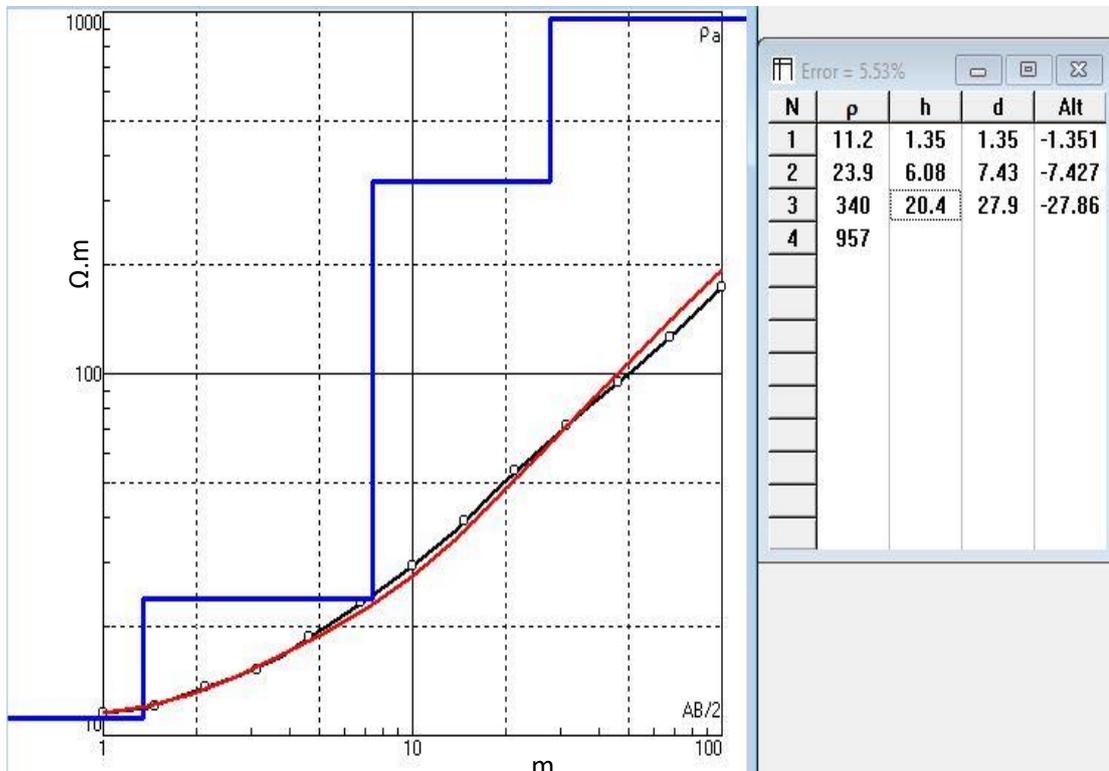
**Anexo 27. Descripción SEV 13**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie areno limosa	0.605	0.605	46
2	Material poco permeable (arcilla)	9.73	10.3	3.82
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	17.5	27.9	353
4	Posible continuidad de material muy permeable (gravas y arenas)			848

Fuente: Autor

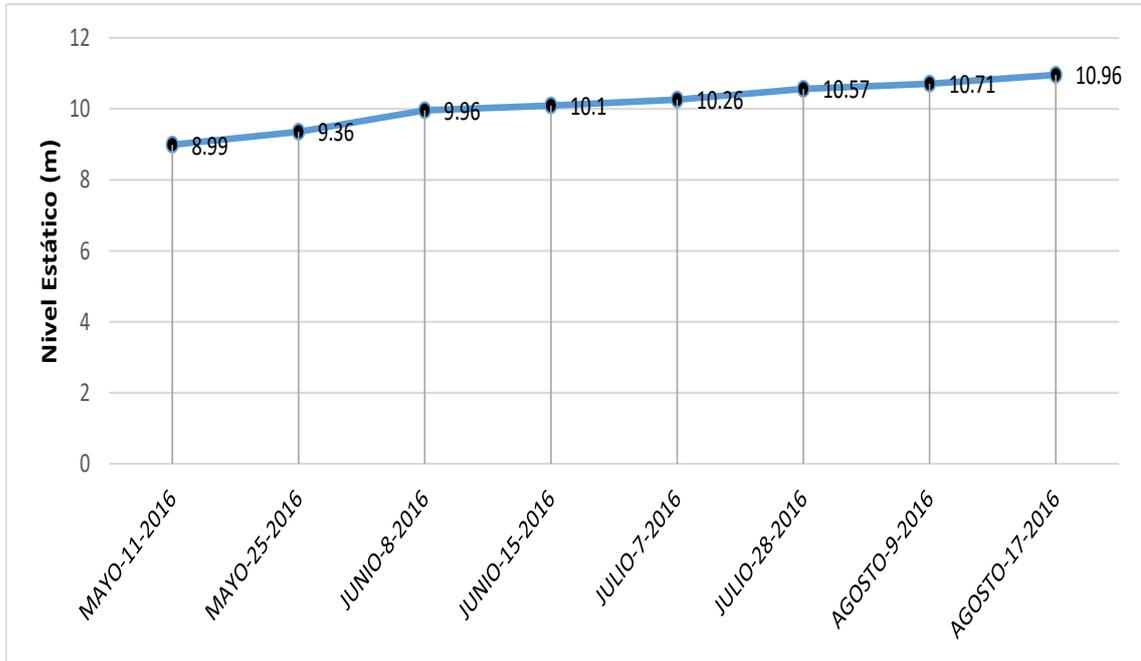
**Anexo 28. Descripción SEV 14**



Nº	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)
1	Superficie areno limosa	1.35	1.35	11.2
2	Material poco permeable	6.08	7.42	23.9
3	Material muy permeable (gravas y arenas)	20.4	27.9	340
4	Posible continuidad de material muy permeable (gravas y arenas)			957

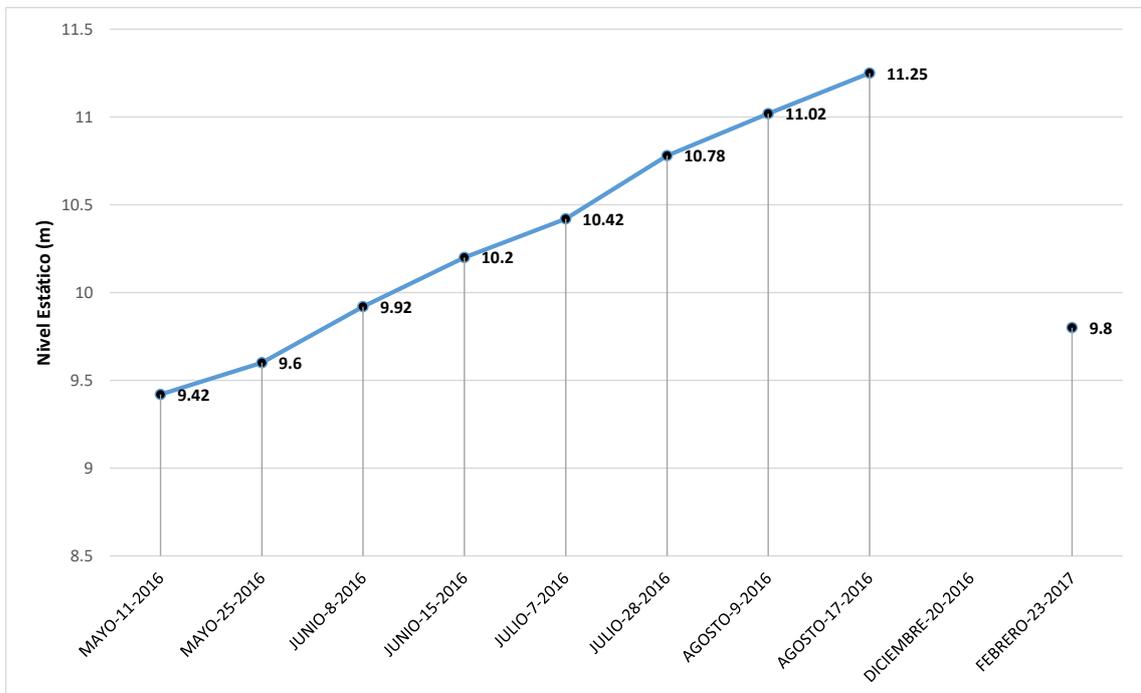
Fuente: Autor

**Anexo 29. Pozo 1- Nivel Estático**



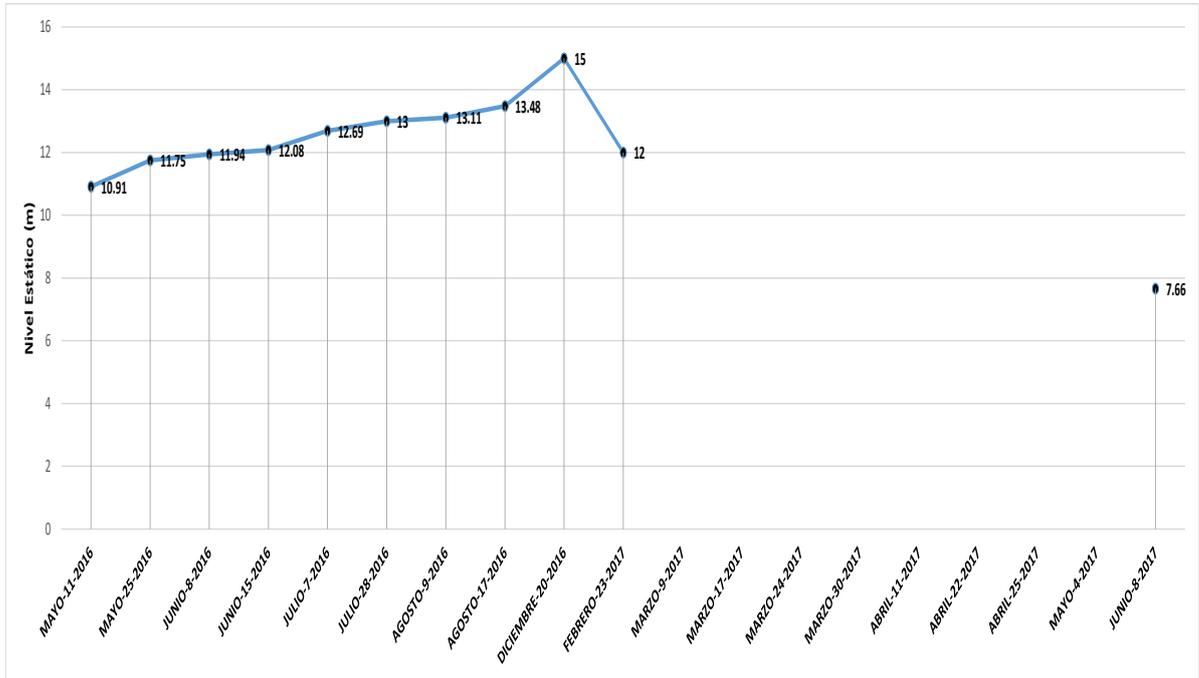
Fuente: Autor

**Anexo 30. Pozo 2- Nivel Estático**



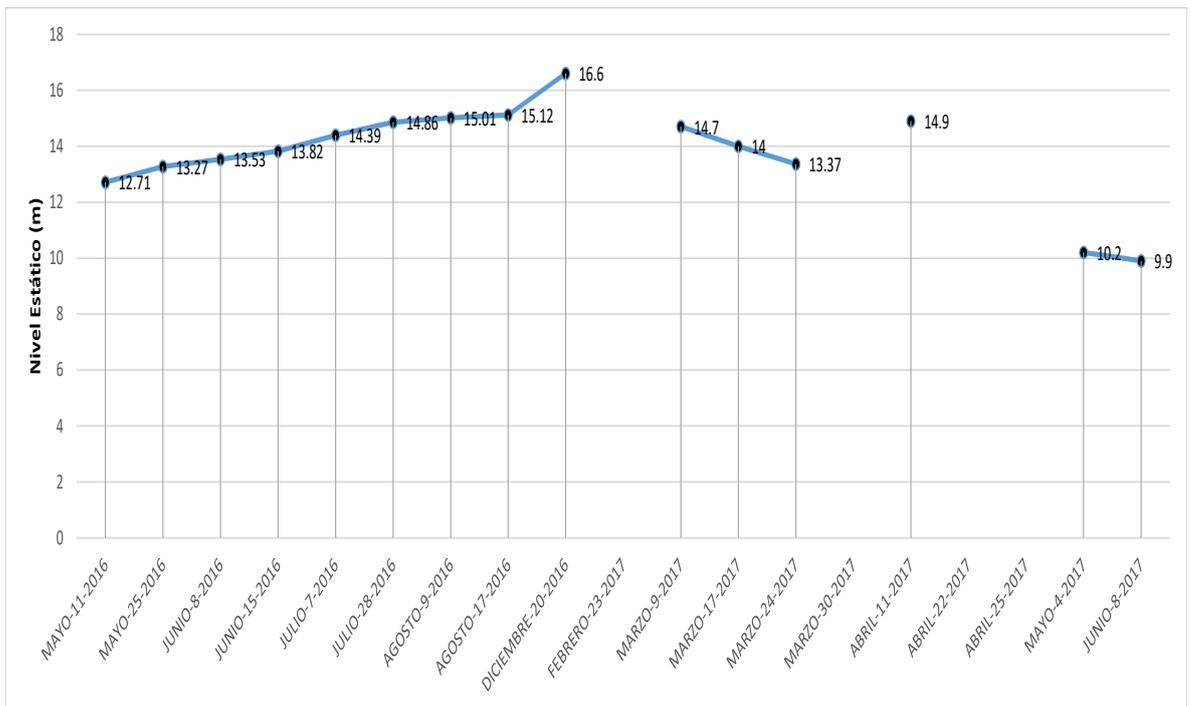
Fuente: Autor

**Anexo 31. Pozo 3- Nivel Estático**



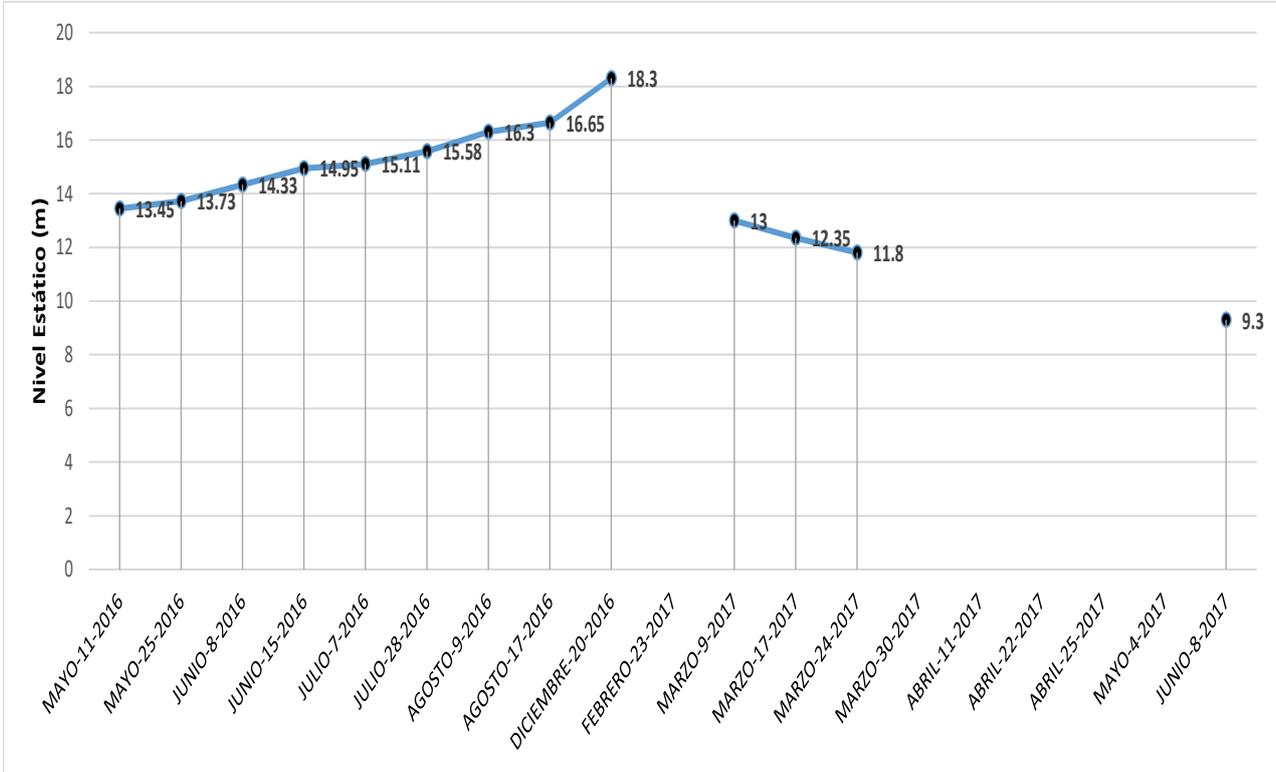
Fuente: Autor

**Anexo 32. Pozo 4- Nivel Estático**



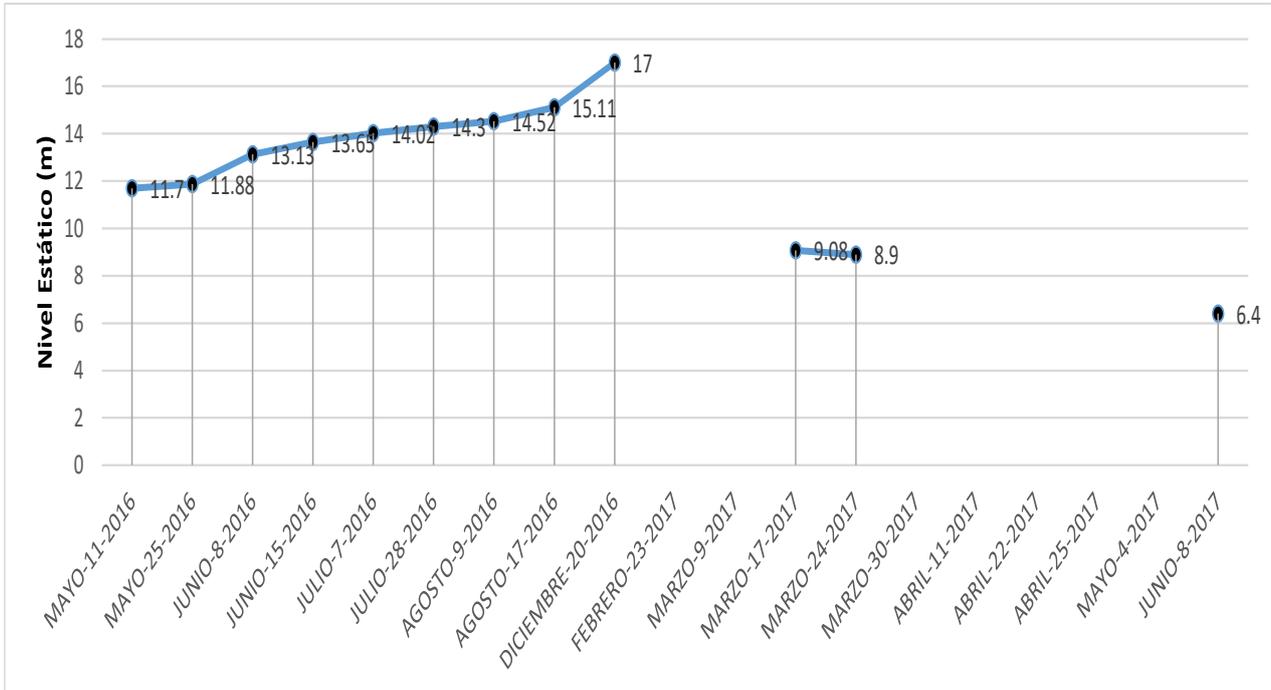
Fuente: Autor

**Anexo 33. Pozo 5- Nivel Estático**



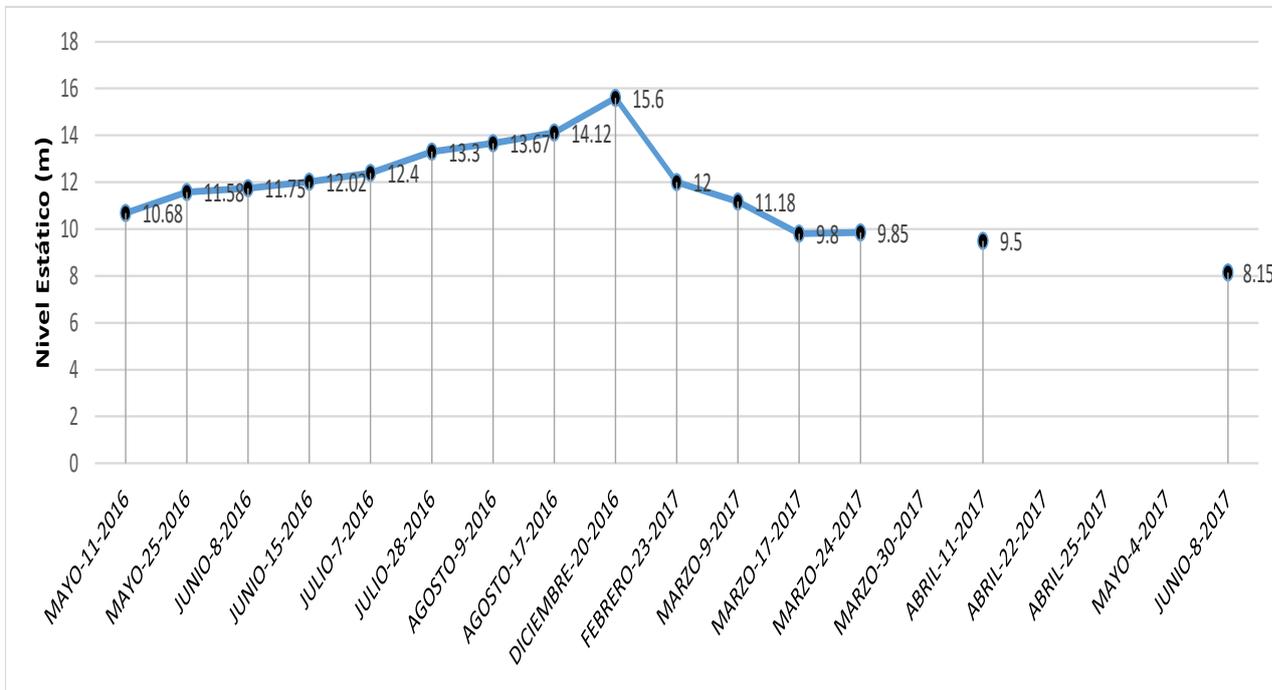
Fuente: Autor

**Anexo 34. Pozo 6- Nivel Estático**



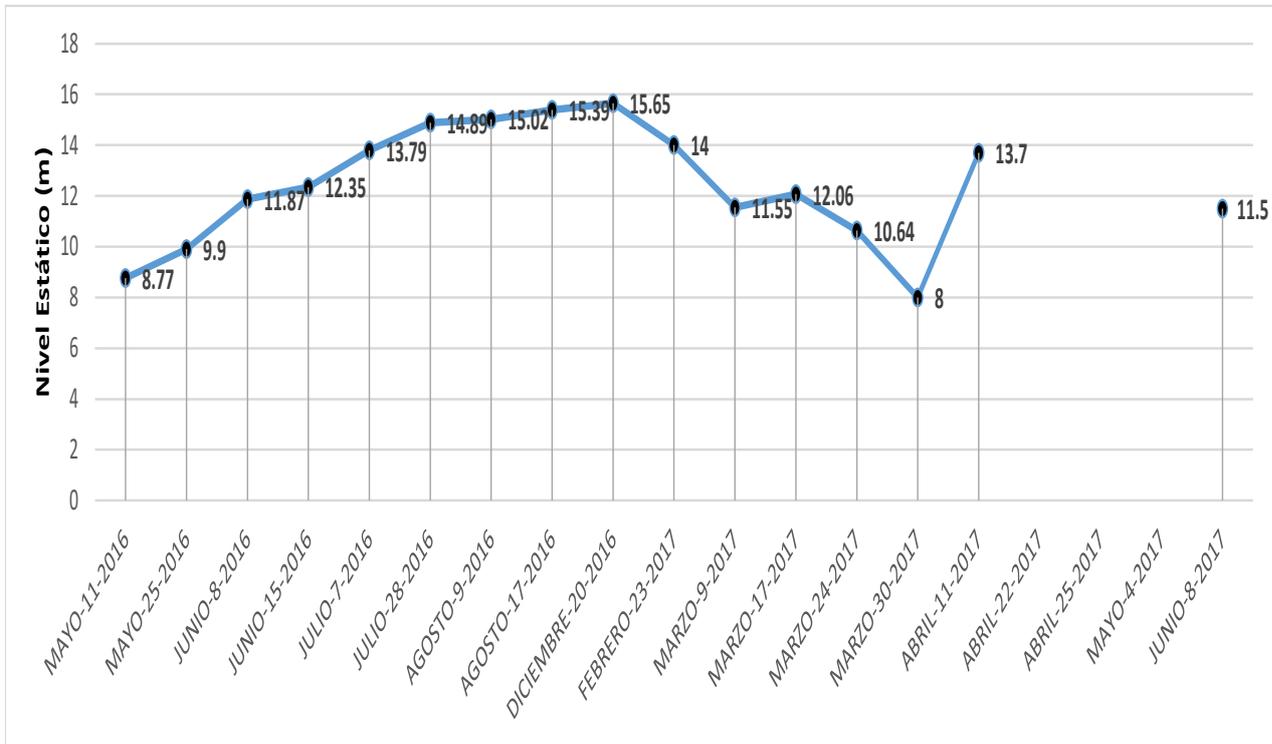
Fuente: Autor

**Anexo 35. Pozo 7- Nivel Estático**



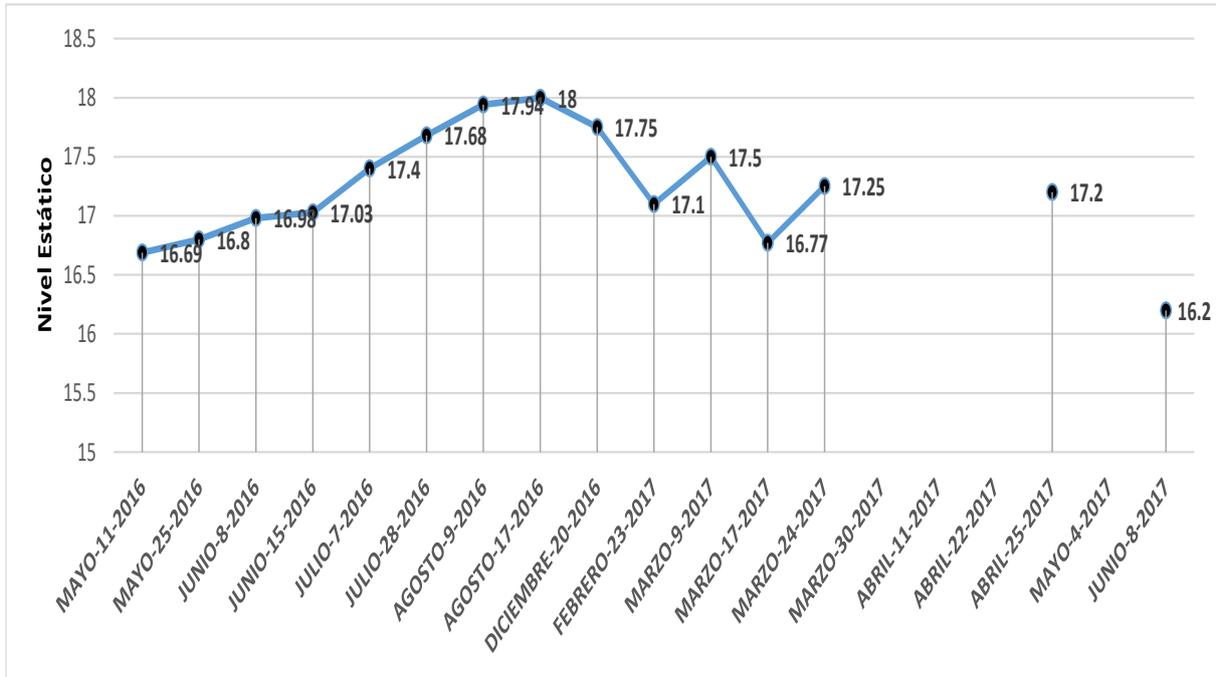
Fuente: Autor

**Anexo 36. Pozo 8- Nivel Estático**



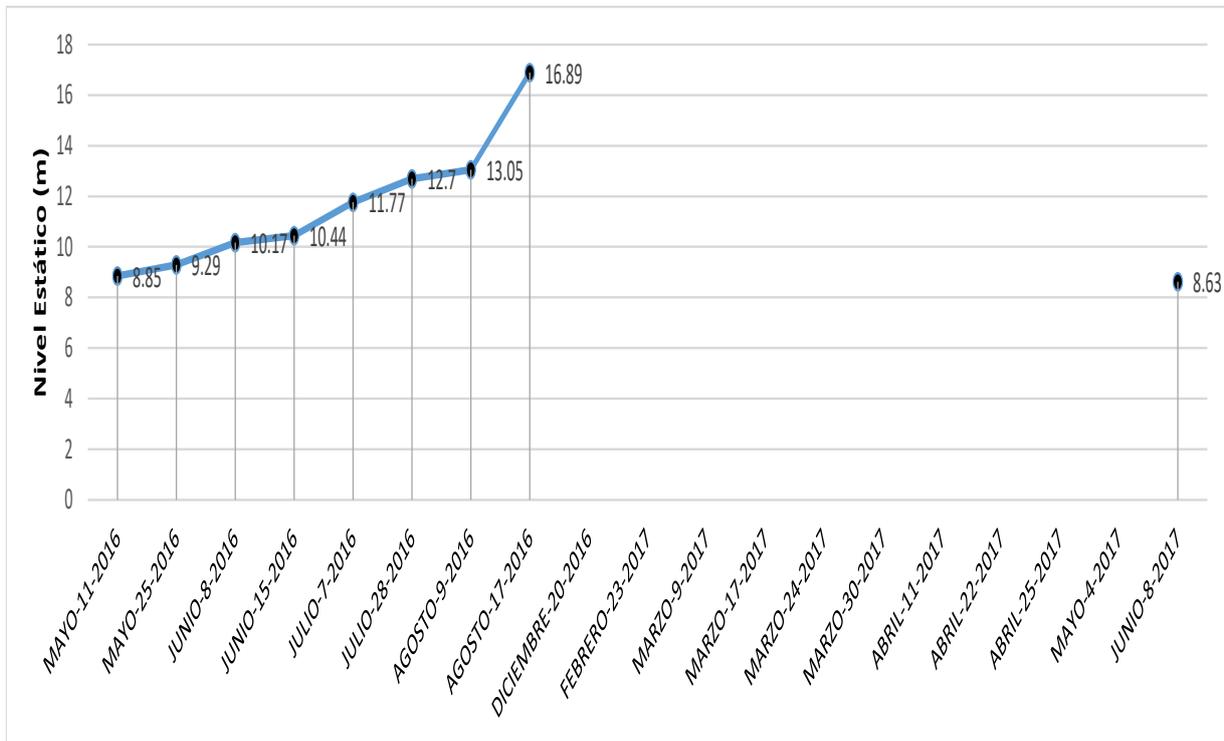
Fuente: Autor

**Anexo 37. Pozo 9- Nivel Estático**



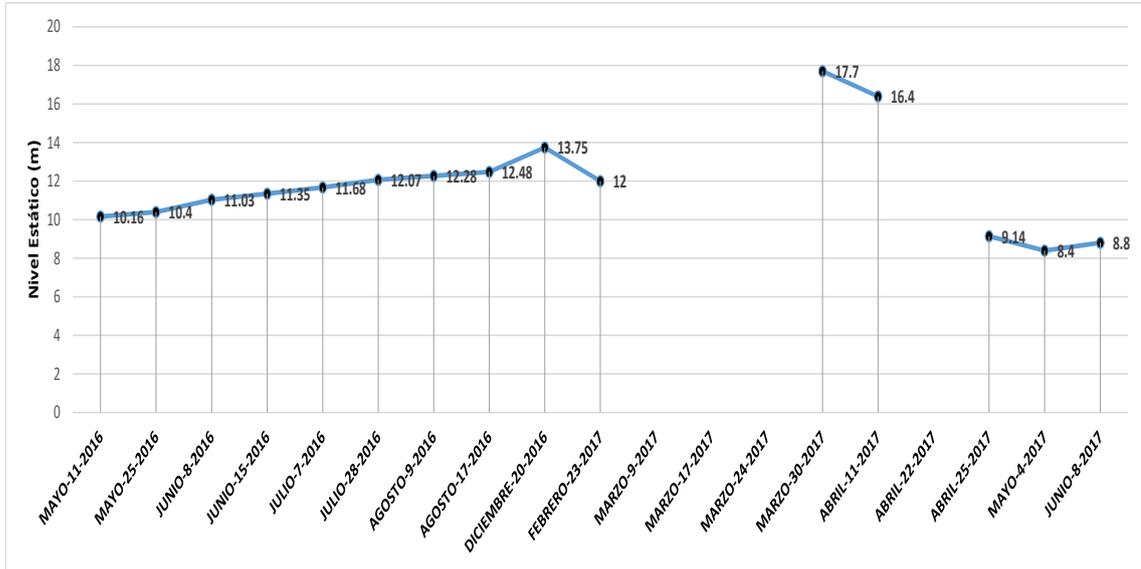
Fuente: Autor

**Anexo 38. Pozo 10- Nivel Estático**



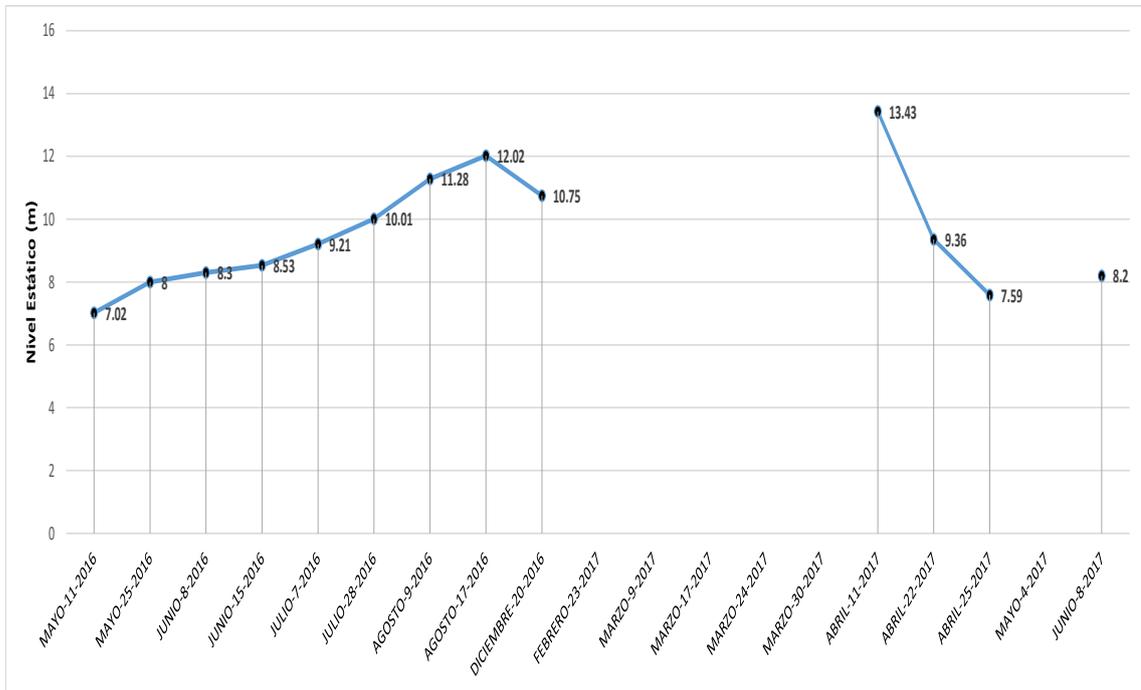
Fuente: Autor

**Anexo 39. Pozo 11- Nivel Estático**



Fuente: Autor

**Anexo 40. Pozo 12 - Nivel Estático**



Fuente: Autor