

NOVIEMBRE DE 2016



# INVENTARIO DE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL MUNICIPIO DE MANAURE, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA, COLOMBIA.

**YELENKA PATRICIA HERNÁNDEZ BOLÍVAR**  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA - CORPOGUAJIRA

**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**

INVENTARIO DE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL MUNICIPIO  
DE MANAURE, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA, COLOMBIA.

**PRACTICA EMPRESARIAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**GEÓLOGA**

PRESENTA

**YELENKA PATRICIA HERNÁNDEZ BOLÍVAR**

DIRECTOR ACADÉMICO:

Jesús Ramón Delgado Rodríguez

DIRECTOR DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL:

Julio Cúvelo Redondo

COLOMBIA, 2016



EL SUSCRITO COORDINADOR DEL GRUPO DE TALENTO HUMANO DE LA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE LA GUAJIRA "CORPOGUAJIRA"

CERTIFICA

Que la señorita YELENKA PATRICIA HERNANDEZ BOLIVAR, quien se identifica con la cédula de ciudadanía número 1.120.742.097 expedida en Fonseca, realizo sus pasantías en la Corporación, en el periodo comprendido del 12 de enero al 13 de octubre de 2016, apoyando en calidad de estudiante de Geología a la Subdirección de Gestión Ambiental y al Grupo de Administración Integral del Recurso Hidrico, en actividades rutinarias en formulación y evaluación de proyectos, planes de manejo ambiental de sistemas de acuíferos, planes de ordenamiento de recurso hidrico y reglamentación de corrientes, reporte de información a diferentes entidades del estado, elaboración de estudios previos, presupuestos, supervisiones a convenios y/o contratos, atención de solicitudes y quejas de los usuarios en el tema de recurso hidrico que se generen en la Corporación.

Durante sus pasantías se destacó por su compromiso, responsabilidad y deseos de superación.

Riohacha, 27 de octubre de 2016

FABIAN JAVIER MOLINA MARTINEZ



Cra. 7 No. 12-1  
Teléfonos: (5) 7282672 / 7275125 / 728671  
Telefax: (5) 727481  
[www.corpoguajira.gov.co](http://www.corpoguajira.gov.co)  
Laboratorio: (5) 728501  
Fonseca: Teléfonos: (5) 775651  
Linea de atención gratuita: 0180009543  
Riohacha - Colombia

## AGRADECIMIENTOS

Sí con alguien estoy agradecida es con Dios, que como su hija me ha colmado de bendiciones y ha permitido que en mi vida siempre haya personas maravillosas que han caminado a mi lado para que lograra llegar al final de esta etapa de mi vida.

A la familia **CORPOGUAJIRA** y en especial al área de gestión ambiental dirigida por él **INGENIERO JULIO CÚRVELO**.

Al director de este trabajo **JESÚS RAMÓN DELGADO RODRÍGUEZ**, por su gran apoyo y enseñanza durante mi educación universitaria y la realización de este trabajo.

De igual manera a mis formadores de los que adquirí más que conocimientos de Geología.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres **MIRIAM, DALIS Y DAVID**, a mis hermanos **KATTY, IRVIN Y DARVIS** porque siempre han estado ahí para darme lo mejor, compartir su tiempo, su esfuerzo, su amor y cuando el mundo ha dudado de mis capacidades, ustedes creyeron en mí y siempre me exigieron ser mejor.

A mis abuelos, tíos, primos y sobrinos por el apoyo que siempre brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

A mis amigos que he ido cultivando durante cada etapa de mi vida por ser incondicionales durante tantos años, y estoy segura que por muchos más.

A los compañeros de la universidad con los que compartí grandes momentos.

A todos aquellos que de una u otra forma aportaron para llegar donde estoy, estando cerca de mí y contribuyendo a mi vida algo de ellos.

Gracias.

“La paciencia es amarga, pero su fruto es dulce”

Jean Jacques Rousseau.

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	13
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	17
1.1.1. Objetivo general .....	17
1.1.2. Objetivos específicos .....	17
<b>1.2. LOCALIZACIÓN</b> .....	17
<b>1.3. VÍAS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN</b> .....	18
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	21
2.1. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS.....	21
2.2. CONCEPTOS BASICOS .....	23
2.2.1. Ciclo hidrológico .....	23
2.2.2. Agua Subterránea .....	24
2.2.3. Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico .....	25
2.2.4. Tipos de acuíferos .....	26
2.2.5. Características físico-químicas del Agua Subterránea .....	27
2.2.6. Porosidad (m) .....	30
2.2.7. Permeabilidad .....	31
2.2.8. Pozo .....	31
2.2.9. Aljibe.....	32
2.2.10. Modelos de interpolación.....	32
2.2.11. Colorimetría .....	34
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	37
<b>3.1. Fase 1:</b> planificación .....	39
<b>3.2. Fase 2:</b> campo .....	39
<b>3.3. Fase 3:</b> Procesamiento y Tabulación de la información .....	49

3.4. Fase 4: interpretación de datos .....	51
<b>4. GEOLOGÍA .....</b>	<b>56</b>
4.1. Geología regional.....	56
4.1.1. Estratigrafía .....	56
4.1.2. Geología estructural .....	57
<b>4.2. Geología local .....</b>	<b>66</b>
4.2.1. Estratigrafía .....	66
4.2.2. Geología estructural .....	69
<b>5. Análisis de Resultados .....</b>	<b>71</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>87</b>
<b>7. Recomendaciones.....</b>	<b>90</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 1 (1).....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 2 (2).....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 4 .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 5 .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 6 .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 7 .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 8 .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 9 .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 10 .....</b>	<b>102</b>

**ANEXO 11** ..... 102

**ANEXO 12** ..... 102

**ANEXO 13** ..... 103

**ANEXO 14** ..... 103



## LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
<b>FIGURA 1.</b> UBICACIÓN DEL MUNICIPIO MANAURE – LA GUAJIRA. ....	18
<b>FIGURA 2.</b> VÍA DE COMUNICACIÓN TERRESTRE DESDE RIOHACHA A MANAURE, LA GUAJIRA. ....	19
<b>FIGURA 3.</b> ESQUEMA QUE REPRESENTA LAS DIFERENTES FASES DEL CICLO HIDROLÓGICO. .....	24
<b>FIGURA 4.</b> LAS ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA DE UN ACUÍFERO. ....	25
<b>FIGURA 5.</b> ACUÍFERO LIBRE. ....	26
<b>FIGURA 6.</b> ACUÍFERO CONFINADO. ....	27
<b>FIGURA 7.</b> ESQUEMA DE UN POZO SUBTERRÁNEO. ....	32
<b>FIGURA 8.</b> MAPA CONCEPTUAL DE LA METODOLOGÍA DEL INVENTARIO DE CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL MUNICIPIO DE MANAURE. ....	37
<b>FIGURA 9.</b> SISTEMA DE FALLAS NNE A NE Y E-W A NW –SE EN LA PENÍNSULA DE LA GUAJIRA. ....	62
<b>FIGURA 10.</b> MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL DEL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA. ....	65
<b>FIGURA 11.</b> MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	69
<b>FIGURA 12.</b> MAPA DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CAPTACIÓN. ....	71
<b>FIGURA 13.</b> MAPA DE POTENCIAL DE HIDROGENO. ....	75
<b>FIGURA 14.</b> MAPA DE CONDUCTIVIDAD. ....	76
<b>FIGURA 15.</b> MAPA DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS. ....	78
<b>FIGURA 16.</b> MAPA DE DENSIDAD. ....	79
<b>FIGURA 17.</b> MAPA DE SALINIDAD. ....	80
<b>FIGURA 18.</b> MAPA PIEZOMÉTRICA. ....	81
<b>FIGURA 19.</b> MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS. ....	85

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
<b>ILUSTRACIÓN 1.</b> FORMATO CON INFORMACIÓN DE USUARIO CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	43

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>TABLA 1.</b> VALORES GUÍA DE AGUA DULCE, SALOBRE Y SALADA INTEGRADA CON DATOS TOMADOS DE CUSTODIO (1976) Y (1987) Y DE HEM (1985).....	30
<b>TABLA 2.</b> FORMATO EN EXCEL PARA TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA EN CAMPO.....	50
<b>TABLA 3.</b> DATOS DE NIVEL FREÁTICO CORREGIDO. ....	52
<b>TABLA 4.</b> VALORES DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL PUNTO CT01.....	53
<b>TABLA 5.</b> TIPOS DE PUNTOS. ....	72
<b>TABLA 6.</b> CONDICIONES DE LOS PUNTOS DE CAPTACIÓN. ....	72
<b>TABLA 7.</b> USO DEL AGUA .....	73
<b>TABLA 8.</b> POTENCIAL HIDROLÓGICO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	82

## LISTA DE FOTOS

	Pág.
<b>Foto 1.</b> GPS DE TRAVESÍA 64S, GARMIN. ....	40
<b>Foto 2.</b> TOMA DE COORDENADAS DEL PUNTO DE CAPTACIÓN. ....	40
<b>Foto 3.</b> MULTIPARÁMETRO HACH. ....	41
<b>Foto 4.</b> TOMA DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS. ....	41
<b>Foto 5.</b> Sonda de nivel OTT. ....	42
<b>Foto 6.</b> MEDICIÓN DE NIVEL DEL AGUA. ....	42
<b>Foto 7.</b> RECOLECTANDO LA INFORMACIÓN DEL FORMATO. ....	44
<b>Foto 8.</b> INSPECCIÓN DE LAS INSTALACIONES DEL POZO. ....	45
<b>Foto 9.</b> REELECCIÓN DE MUESTRA DE AGUA. ....	46
<b>Foto 10.</b> MUESTRA DE AGUA EN RECIPIENTE PARA LLEVAR A LABORATORIO. ....	47
<b>Foto 11.</b> CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA, DURANTE SU TRANSPORTE. ....	47
<b>Foto 12.</b> MUESTRAS DE AGUA EN REFRIGERACIÓN. ....	48
<b>Foto 13.</b> EQUIPO DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL COLOR, COLORÍMETRO. ....	49
<b>Foto 14.</b> MEDICIÓN DE NIVEL ESTÁTICO EN POZO CT01. ....	52

## **RESUMEN**

El agua subterránea en el municipio de Manaure es esencial, ya que brinda oportunidades de desarrollo a la comunidad, además es una alternativa para consumo humano, agricultura y pecuario.

Este trabajo comprende un desarrollo progresivo de diferentes fases que inicia desde la planificación que es toda la parte bibliográfica hasta la interpretación de datos obtenidos en campo, dando como resultados cuantificación de pozos y aljibes, elaboración de mapas, delimitación de unidades hidrogeológicas.

Se realizaron 428 visitas de campo en la zona comprobando coordenadas, cotas, niveles del agua, profundidad, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, color, salinidad y densidad, para conformar y soportar el inventario.

La elaboración de mapas se llevó a cabo con la herramienta ARCGIS 10.2.2. Mediante el modelamiento de interpolación IDM (ponderación de distancia inversa) usando como base de datos las características físico-químicas recolectadas en campo, esto proporcionó como resultado 11 mapas de modelamiento (conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, salinidad, densidad, geológico, unidades hidrogeológicas, isoconductividad, piezométrico, pH, localización de puntos subterráneos).

### **PALABRAS CLAVES:**

AGUA SUBTERRÁNEA, POZOS, ALJIBES, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS, COLOR, SALINIDAD Y DENSIDAD, IDM (PONDERACIÓN DE DISTANCIA INVERSA).

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

**OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL**

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**LOCALIZACIÓN**

**VÍAS DE COMUNICACIÓN**

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se redacta con carácter de práctica empresarial de terminación de Carrera, para la obtención por parte de quien lo suscribe del título de geóloga.

La necesidad de realizar estudios de aguas subterráneas se ha venido incrementando debido a que el agua en general se constituye en un recurso día a día más valioso, dado el descenso progresivo de este recurso hídrico como consecuencia principalmente, del crecimiento de la población y de la contaminación de aguas superficiales, sumados a la variabilidad climática que incide sobre la distribución espacial y temporal de esta, se constituye como un elemento vital y articulador de la naturaleza; por tanto su manejo es tema central para la gestión ambiental, interrelacionando los recursos naturales, el medio ambiente y la actividad humana.

Esto llevó a tomar la iniciativa de realizar un inventario de las captaciones de agua subterránea en el municipio de Manaure se constituye en el primer paso por parte de la autoridad ambiental competente CORPOGUAJIRA, dirigido a obtener información como: situación física y técnica de los pozos, cantidad actual de pozos, calidad del agua verificada por los decreto nacional 1575 de 2007, del decreto 1594/84, el decreto 475/98 y RAS 2000 decreto 1026 del 2000 reglamento básico de agua potable y saneamiento básico, permitiendo el mejoramiento de la administración del acuífero, brindando un mejor apoyo a la normativa de estudio, teniendo prevención y control a largo plazo para así poder generar un mejor aprovechamiento de este recurso, la redacción y obtención de datos se lograran mediante la metodología propuesta en esta investigación.

Son pocos los estudios existentes de inventario de pozos y aljibes en el departamento de la Guajira, a pesar que esta información es de gran importancia para las comunidades urbanas y rurales por ser el agua subterránea una de las

fuentes principales de abastecimiento de agua de las poblaciones en esta zona del país.

A nivel de inventario detallado de diferentes municipios de La Guajira existen varios estudios, Uno de estos fue realizado por el instituto nacional de investigaciones geológico-mineras (INGEOMINAS) en los años 1972 y 1973 en la zona de Uribia y parte de lo que hoy en día pertenece al municipio de Manaure; Posteriormente, fue realizado un inventario por funcionarios de la Corporación Autónoma Regional de la Guajira ( CORPOGUAJIRA) en el año del 2003 en los municipios de la Jagua del pilar, Urumita, Villanueva, San Juan del cesar, Distracción. Este inventario fue parcial por no estar disponibles para ese momento los equipos requeridos para la georreferenciación y análisis de calidad del agua (parámetros fisicoquímicos) y además el inventario no se terminó por problemas de orden público.

Asimismo se pretende alcanzar con este inventario una cuantificación de puntos de captación, conocer valores de las características físico-químicas y mapas de isoconductividad y piezométricos, con el fin de buscar técnicas adecuadas para la exploración, desarrollo y protección del agua subterránea, ya que el municipio de Manaure se encuentra en una cuenca altamente deficitaria de agua.



## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo general

Realizar el inventario de captaciones de agua subterránea presentes en el municipio de Manaure, departamento de La Guajira, Colombia, con el fin de conocer el estado actual de los pozos y soportar la legalización del recurso hídrico.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar las características físico-químicas conductividad eléctrica, temperatura, color, pH, sólidos disueltos totales (SDT) Salinidad y Densidad del agua en los puntos de captación.
- ✓ Elaborar mapa de isoconductividad y piezométrico a escala 1:25.000 mediante interpolación IDW, empleando los datos adquiridos a partir de las características físico-químicas registrados por el multiparamétero.
- ✓ Delimitar unidades hidrogeológicas a partir de las características texturales descritas en el mapa geológico local existente.

## 1.2. LOCALIZACIÓN

Manaure es un municipio del departamento colombiano de La Guajira (figura 1). Limita por el norte con el mar Caribe, por el sur con los municipios de Riohacha y Maicao, por el oeste por el municipio de Riohacha y el Mar Caribe, por el este con los municipios de Uribia y Maicao.

Coordenadas: 11°83' 29"N 72°35,67'96"O

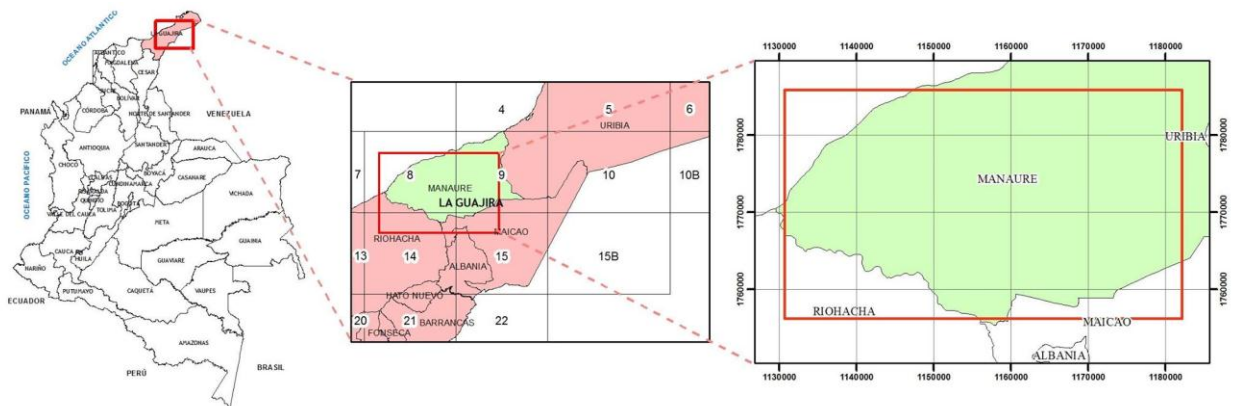
11°52,73'35"N 72°26,34'12"O

11°56,23'19"N 72°89'33"O

11°42,63'98"N 72°63,42'01"O

La extensión territorial del municipio de Manaure es de 1.643 km<sup>2</sup> y está compuesto por su casco urbano y nueve corregimientos: Aremasain, El Pájaro, La Gloria, La Paz, Manzana, Mayapo, Musichi, San Antonio de Pancho y Shiruria.

**Figura 1.** Ubicación del municipio Manaure – La Guajira.



Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

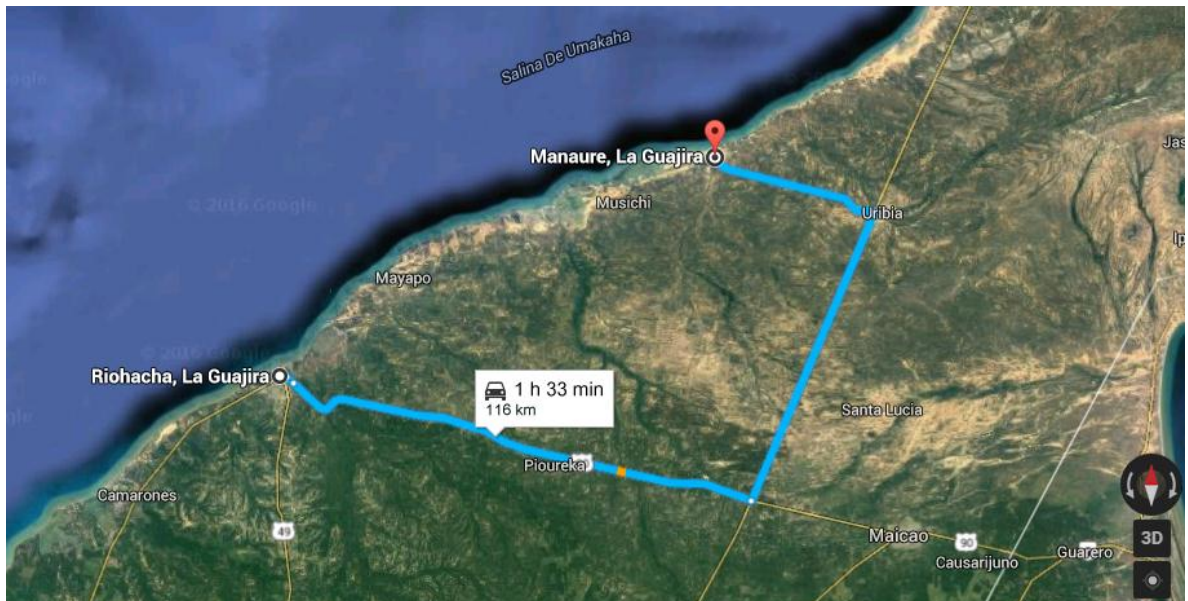
### 1.3. VÍAS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN

**Aéreas:** Para visitar Manaure, se puede tomar un vuelo aéreo procedente de Bogotá que llega a la ciudad de Riohacha y de ahí se puede tomar un transporte hacia este Municipio.

**Terrestres:** Para viajar a Manaure, desde Riohacha, se hace un recorrido por carretera vía a Maicao y al llegar al ferrocarril que transporta el carbón del Cerrejón, se voltea a la izquierda para continuar el camino por una carretera asfaltada, paralela al ferrocarril. Finalmente, se llega hasta el municipio de Uribia, capital indígena de Colombia, ubicado al costado derecho y se toma la carretera que está a la izquierda (la carretera que sigue paralela al ferrocarril nos lleva hasta el Cabo

de la Vela y Puerto Bolívar, donde se embarca el carbón de las minas del Cerrejón) para finalmente llegar al municipio de Manaure Este recorrido desde Riohacha hasta Manaure se hace en aproximadamente 1 hora y 15 minutos (ver figura 2).

**Figura 2.** Vía de comunicación terrestre desde Riohacha a Manaure, La Guajira.



Fuente: Google Maps

# Capítulo 2

## MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

MARCO CONCEPTUAL

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

En primer lugar se tiene que, en febrero 2011 se realizó el informe final regido por el convenio 057 del 2010 **Modelo hidrológico y sistema de información en la cuenca del río Ranchería** por la Universidad de Antioquia y Corpoguajira.

Este informe hace referencia al desarrollo de un modelo hidrogeológico, Este se ha organizado por capítulos; a la vez cada capítulo inicia exponiendo unas generalidades sobre el tema al que hace referencia Se citan también los alcancesx999999999999o y limitaciones tenidos durante un año de realización de trabajos, plantea algunos aspectos metodológicos considerados para el logro de los propósitos trazados se refiere al balance hídrico mediante el cual se obtuvo una primera cuantificación la recarga directa al sistema hidrogeológico, también se sintetiza la información recopilada y estandarizada en relación con puntos de agua, teniendo la estructura de los resultados de un inventario de captaciones y presenta los resultados alcanzados como, la evaluación geológico-estructural de la cuenca se materializan en un mapa geológico a escala 1:25.000, Los sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados por CORPOGUAJIRA, fueron procesados e interpretados por un experto en geofísica, este informe constituyo, junto con la geología, un insumo fundamental para la definición de las unidades hidrogeológicas y la modelación del sistema que se presenta dentro del modelo hidrogeológico, Con el modelo hidrogeológico obtenido se pudo efectuar una primera evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del sistema utilizando la metodología GOD, el análisis hidrogeoquímico y de calidad del agua subterránea, elementos fundamentales para efectuar ajustes e iniciar procesos de validación del modelo conceptual, se describen procedimientos, actividades, metodologías y resultados de los desarrollos en técnicas de análisis geoespacial que permiten tener hoy el modelo incorporado a una plataforma geoinformática. Este estudio debe proyectarse hacia la

formulación de un Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos, acorde a las directrices que el Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo Territorial está formulando en orden a cumplir este propósito.

Este informe ayudó en la comprensión y orientación de los procesos para un inventario de captaciones subterráneas, geología e hidrogeología, con la finalidad de dar el apoyo a todas las actividades de levantamiento de datos.

También se consultó el proyecto, que en julio de 2014, fue presentado a la Agencia Nacional de Minería por Salinas Marítimas de Manaure – SAMA LTDA como **Programa de Trabajos y Obras – P.T.O. Expediente HINM-0.**

Este se realizó con el fin de dar cumplimiento a los requerimientos establecidos por la ANM (Agencia Nacional Minera), para la conformación de un PTO integral, se establece una metodología documental que consolida en único Plan de trabajos, cuya estructura es la conjunción de cada uno de los aspectos técnicos, logísticos, ambientales, económicos y comerciales, que permitan alcanzar producciones de sal marina y las nuevas oportunidades de negocio que se pueden prever hacia un futuro.

El proyecto comienza con la recopilación de información documental y de campo que permita realizar un diagnóstico de las condiciones topográficas y de infraestructura presentes en el área, de acuerdo a la ubicación del proyecto minero a realizar.

El planteamiento desarrollado en la investigación anterior ofrece información de normativas del agua, geología e hidrogeología de la zona de estudio ayudando en el fortalecimiento de información del municipio de Manaure.

En esta misma labor de investigación se consultó el **Atlas Geológico de Colombia planchas 5-01 y 5-02** del 2007 elaboradas por INGEOMINAS.

Este explica la parte geológica del departamento de la Guajira contiene leyenda y descripción respectiva de cada unidad.

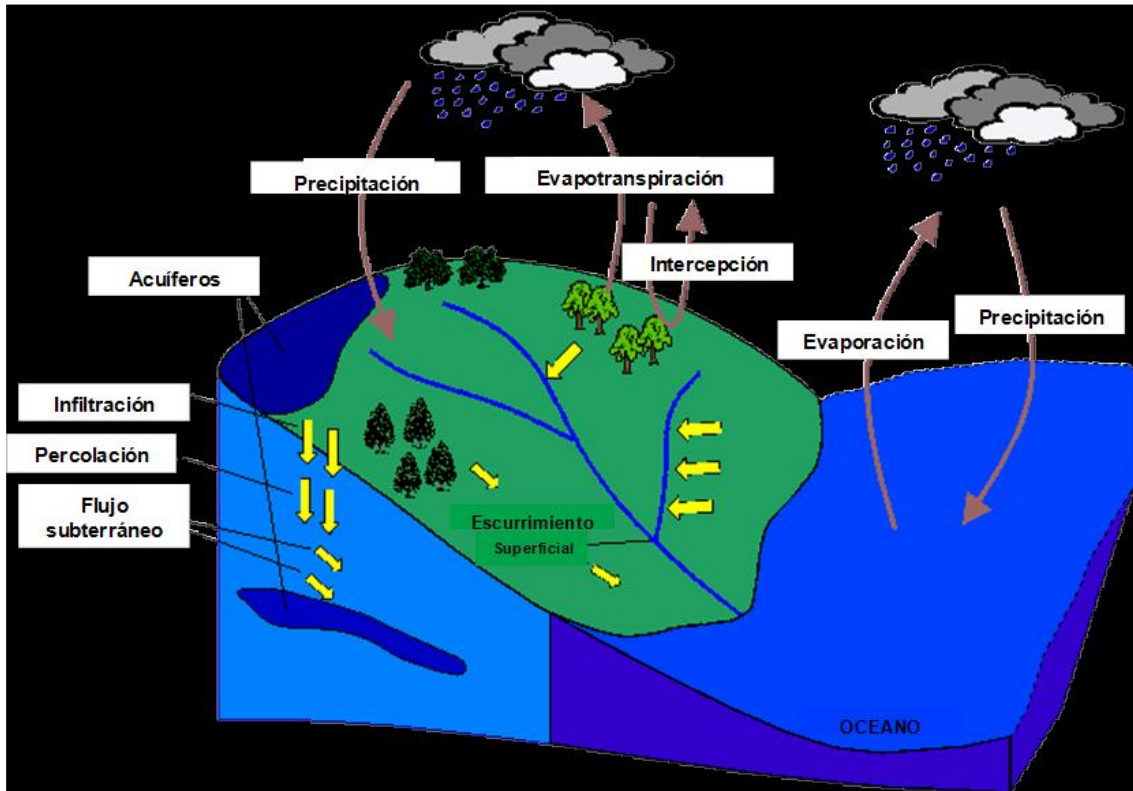
## 2.2. CONCEPTOS BASICOS

A continuación se presentan los conceptos fundamentales relacionados al presente trabajo.

### 2.2.1. Ciclo hidrológico

El ciclo del agua en la tierra o ciclo hidrológico, es la circulación continua del agua en sus diferentes estados en el planeta. No tiene principio ni fin, pero el concepto de ciclo hidrológico suele describirse normalmente comenzando desde los océanos porque éstos constituyen de lejos la fuente principal del agua en circulación. La radiación solar evapora el agua de los océanos y en la atmósfera el vapor de agua asciende formando las nubes. Bajo ciertas condiciones, la humedad de éstas se condensa y cae a la superficie como lluvia, granizo o nieve, las diferentes formas de precipitación. La precipitación que cae en tierra es el origen de prácticamente toda el agua dulce. Parte de esta precipitación, después de mojar las hojas y el suelo, corre por la superficie terrestre a los cursos de agua constituyendo el escurrimiento superficial y otra se infiltra en el suelo. Mucha de esta última es retenida en la zona de las raíces de las plantas y parte de ella vuelve a la atmósfera por la evapotranspiración. El excedente percola de la zona de raíces hacia abajo por la fuerza de gravedad y continúa su descenso hasta ingresar a un reservorio de agua subterránea. El agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de éstos devuelve el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora, (figura 3).

Figura 3. Esquema que representa las diferentes fases del ciclo hidrológico.



Fute: Musy, André, 2000.

### 2.2.2. Agua Subterránea

Es el agua que se aloja y circula en el subsuelo, conformando los acuíferos. La fuente de aporte principal es el agua de lluvia, mediante el proceso de infiltración. Otras fuentes de alimentación localizada pueden ser los ríos, arroyos, lagos y lagunas. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y está saturando completamente los poros y/o fisuras del terreno (ver, figura 4) y fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes o manantiales o cauces fluviales, Caraballo (2012), pág. 16.



**Figura 4.** Las áreas de recarga y descarga de un acuífero.



Fuente: Juan Antonio López-Geta, 2009.

En la imagen se observan las áreas de recarga y descarga, así como las líneas de flujo y tiempo de desplazamiento del agua en un acuífero desde que alcanza la zona saturada hasta su salida a la superficie según diferentes trayectorias. Los tiempos son meramente indicativos.

### 2.2.3. Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico

**Acuífero:** Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad, Sánchez Javier (2014), pág. 1.

**Acuicludo:** Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella, Sánchez Javier (2014), pág. 1.

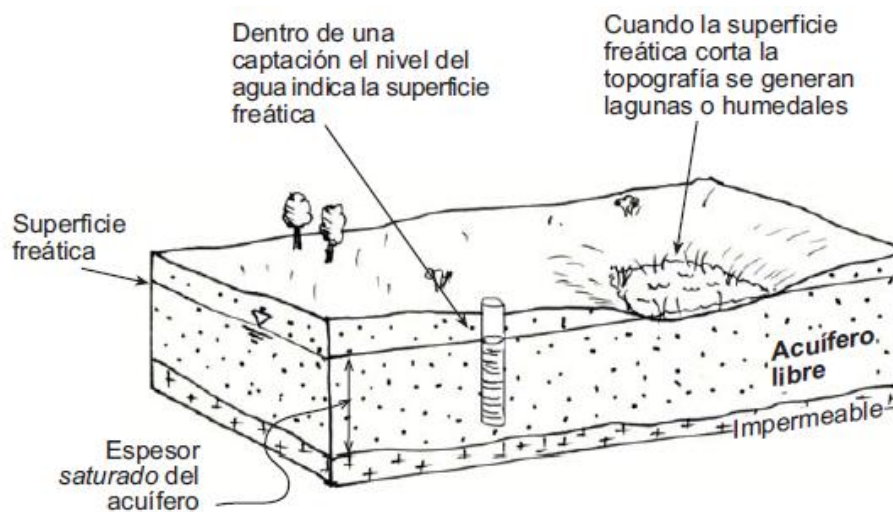
Acuitardo: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad, Sánchez Javier (2014), pág. 1.

Acuífugo: Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella, Sánchez Javier (2014), pág. 1.

#### 2.2.4. Tipos de acuíferos

Acuíferos libres: En estos acuíferos el agua se encuentra relleno los poros o fisuras por gravedad. La superficie hasta donde llega el agua se denomina superficie freática; cuando esta superficie es cortada por un pozo se habla del nivel freático en ese punto (ver figura 5), Sánchez Javier (2014), pág. 6,7.

**Figura 5.** Acuífero libre.

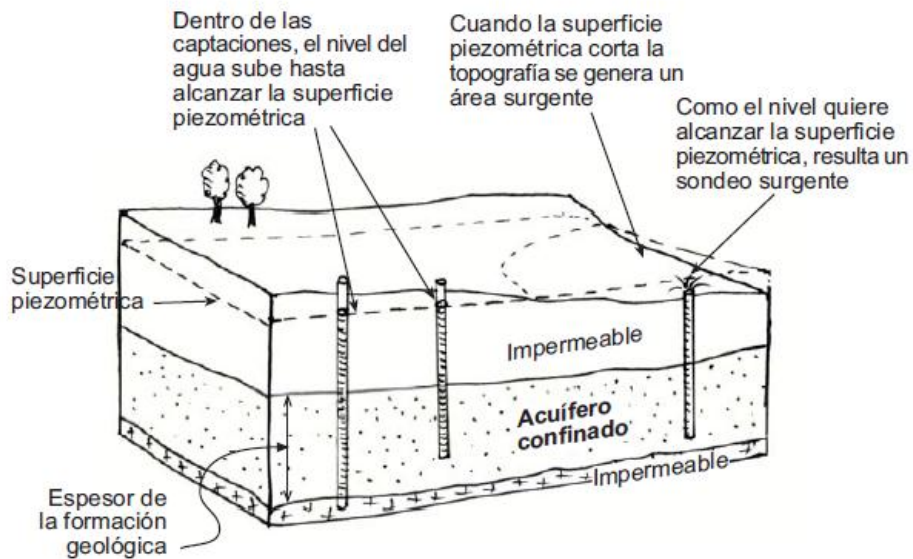


Fuente: Sánchez Javier (2014).

Acuíferos confinados: En estos acuíferos el agua se encuentra a presión, de modo que si se extrae agua de él, ningún poro se vacía, solo disminuye la presión del

agua y en menor medida la de la matriz sólida (ver figura 6). Sánchez Javier (2014), pág. 6,7.

Figura 6. Acuífero confinado.



Fuente: Sánchez Javier (2014).

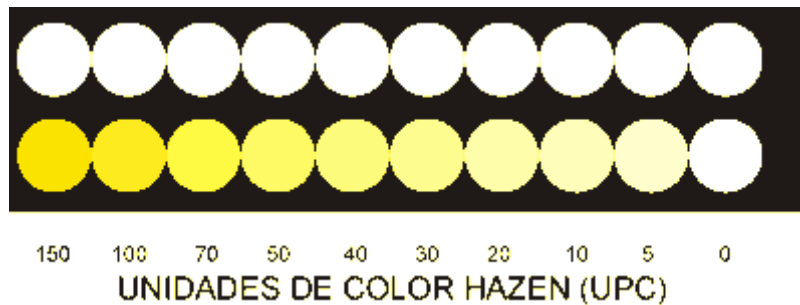
### 2.2.5. Características físico-químicas del Agua Subterránea

Conocer los componentes disueltos o en otras formas del agua subterránea es una de las características más importantes a determinar. La presencia y concentración de determinados compuestos hace que el agua subterránea se diferencie de otras. Los procesos y factores que influyen en la evolución de la calidad de las aguas subterráneas pueden ser intrínsecos o extrínsecos al acuífero. En principio, el agua subterránea tiende a aumentar las concentraciones de sustancias disueltas a medida que se infiltra y aumenta su recorrido en los distintos acuíferos. Además de otros factores que interfieren en la composición del agua, como clima, composición del agua de recarga, tiempo de contacto del agua con el medio físico, etc., además de la contaminación causada por el hombre.

#### **Características físicas**

**Color:** El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color se debe considerar que define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad (ver, figura 7). El término “color aparente” engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla.

Figura 7. Escala de color de HAZEN.



Fuente: HAZEN A., Am. Chem. J. (1892).

**Temperatura:** La temperatura es un parámetro físico que afecta mediciones de otros como pH y conductividad. El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable. Custodio (1976).

**Conductividad eléctrica:** La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos, sus concentraciones absolutas y relativas, su movilidad y su valencia y de la temperatura y la viscosidad de la solución. Este parámetro sirve para estimar el contenido total de constituyentes iónicos. Custodio (1976).

### **Características químicas**

**pH:** El pH es un parámetro que mide la concentración de iones hidronio presentes en el agua. El rango de pH para aguas naturales oscila entre 4 y 9 y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos. El pH del agua pura a 25°C es de 7, neutro.

**Sólidos disueltos totales (SDT):** Los sólidos disueltos totales, son las sustancias que permanecen después de filtrar y evaporar a sequedad una muestra bajo condiciones específicas. Custodio (1976).

**Densidad:** Es una magnitud escalar que se refiere a la relación entre la cantidad de masa y el volumen de una sustancia. El agua subterránea en zonas costeras puede considerarse como un fluido no homogéneo en virtud de la variabilidad espacial de su densidad, que es función principalmente de:

- ✓ Sales disueltas (STD Sólidos Totales Disueltos)
- ✓ Temperatura

La densidad del agua está en función de la salinidad y temperatura, se puede calcular con la fórmula (ecu.1), (Custodio 1987):

**Ecuación 1.** Fórmula de densidad.

$$\rho = 1000 + 0.8554S - 0.0065 (t - 4 + 0.2214S)^2$$

Donde:

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

S = salinidad (g/L de STD)

t = temperatura (o C)

A continuación se presenta la Tabla 1 con los valores teóricos de Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos disueltos Totales (STD) y Densidad ( $\rho$ ) para tres tipos de agua:

**Tabla 1.** Valores guía de agua dulce, salobre y salada Integrada con datos tomados de Custodio (1976) y (1987) y de Hem (1985).

Parámetro	Agua dulce	Agua salobre	Agua salada/ Agua de mar
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	<1,000	1,000 – 10,000	54,000
STD (mg/L)	0 – 1,000	1,000 – 10,000	10,000 – 100,000 (35,000)
Cl (mg/L)	100	100 – 1,100	25,000
Densidad (Ton/m <sup>3</sup> )	1.00	1.01	1.025

### Salinidad

Propiedad importante de aguas usadas industriales y de cuerpos de agua naturales. Originalmente este parámetro se concibió como una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. ENOHSA hidrogeología.

#### 2.2.6. Porosidad (m)

Debido al proceso de formación de las rocas y a la distribución de esfuerzos locales en las mismas, los granos no están en contacto continuo unos con otros, dejando espacios vacíos dentro de ellas. El conjunto de espacios vacíos en las rocas recibe el nombre de poros. Si los poros y fisuras de un material granular se deformaran hasta que desaparecieran, al ser este sometido a una gran presión hidrostática, se obtendría un sólido ideal denominado matriz rocosa. Por lo tanto, el volumen total de la roca está compuesto por la suma entre el volumen de poros y el volumen de la matriz.

La porosidad de un material es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee el mismo y está definida como la relación entre el volumen total ocupado por los poros y el volumen total del sólido. (Mendoza, 1998).

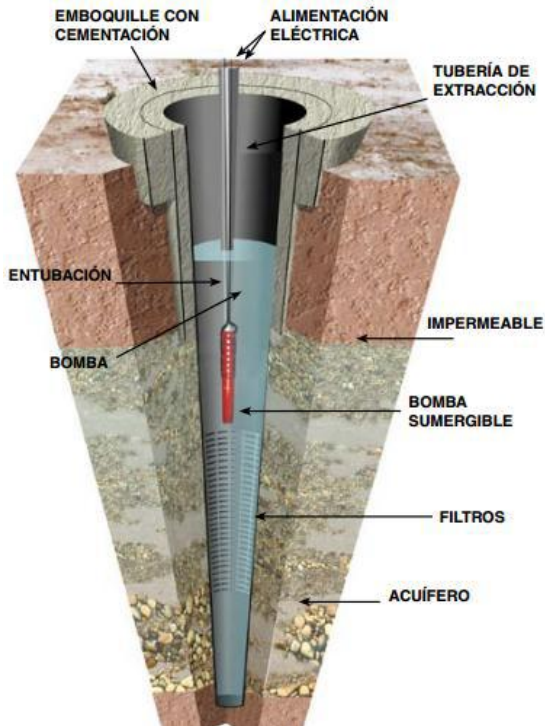
#### 2.2.7. Permeabilidad

En el estudio de la física de rocas resulta de gran importancia el contenido de fluidos y el movimiento de los mismos en el interior de ellas. Las rocas porosas tienen la capacidad de absorber fluidos como gas, hidrocarburos o agua, siempre que sus espacios vacíos estén interconectados. Así mismo, en muchos casos el fluido dentro de una masa rocosa actúa como debilitador del sistema, induciendo rupturas o fracturamientos (Mendoza, 1998).

#### 2.2.8. Pozo

Un pozo (ver figura 7) para abastecimiento de agua es un agujero profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneas. Generalmente de forma cilíndrica, se suele tomar la precaución de asegurar sus paredes con ladrillo, piedra, cemento o madera, para evitar su deterioro y derrumbe. Juan Antonio López Geta, 2009.

**Figura 7.** Esquema de un pozo subterráneo.



Fuente: Juan Antonio López Geta, 2009.

### 2.2.9. Aljibe

Excavación poco profunda, de gran diámetro, revestida y abierta en el fondo. QuimiNet, 2012.

### 2.2.10. Modelos de interpolación

Las herramientas de interpolación de superficie crean una superficie continua (o predicción) a partir de valores de punto de muestra. Existen diferentes maneras de derivar una predicción para cada ubicación; cada método se denomina modelo. Con cada modelo, se realizan diferentes suposiciones acerca de los datos, y algunos



modelos son más aplicables para determinados datos, por ejemplo, un modelo puede dar cuenta de la variación local mejor que otro. Cada modelo produce predicciones usando diferentes cálculos.

#### 2.2.10.1. Modelo IDW (ponderación de distancia inversa)

La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación.

Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Por ejemplo, al interpolar una superficie de poder adquisitivo de los consumidores para analizar las ventas minoristas de un sitio, el poder adquisitivo de una ubicación más distante tendrá menos influencia porque es más probable que las personas compren cerca de sus casas. Philip, G. M. y D. F. Watson (1982.).

#### 2.2.10.2. Modelo Kriging

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores  $z$ . A diferencia de otros métodos de interpolación en el conjunto de herramientas de Interpolación, utilizar la herramienta Kriging en forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores  $z$  antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida, Philip, G. M. y D. F. Watson (1982.).

### 2.2.10.3. Modelo vecino natural

El algoritmo utilizado por la herramienta de interpolación de Vecino natural halla el subconjunto de muestras de entrada más cercano a un punto de consulta y aplica ponderaciones sobre éstas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor. También se conoce como interpolación de Sibson o de "robo de área". Sus propiedades básicas son que es local, utiliza sólo un subconjunto de muestras que circundan a un punto de consulta y asegura que las alturas interpoladas estarán dentro del rango de las muestras utilizadas. No infiere tendencias ni produce picos, depresiones, crestas o valles que no estén ya representados por las muestras de entrada. La superficie pasa por las muestras de entrada y es suave en todas partes, excepto en las ubicaciones de las muestras de entrada, Philip, G. M. y D. F. Watson (1982.).

### 1.2.10.4. Modelo de spline

La herramienta Spline utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada, Philip, G. M. y D. F. Watson (1982.).

### 2.2.11. Colorimetría

Se conoce como colorimetría a la ciencia encargada de medir los colores para obtener la cuantificación de los mismos, favoreciendo así su estandarización.

Para llevar a cabo las mediciones colorimétricas es necesario tomar como punto de comparación la llamada "curva espectral codificada" que permite asignar valores

numéricos a la respuesta de estímulos de colores. Una vez asignados los valores se hace una suma de los mismos y se obtiene la cuantificación del o los colores.

A lo largo del tiempo las pruebas de colorimetría se han apoyado de los avances tecnológicos. Uno de los instrumentos que ayudan a llevar a cabo una medición colorimétrica más precisa es el colorímetro. Hobart h. Willard (1982).

# Capítulo 3

## METODOLOGÍA

**FASE 1: PLANIFICACIÓN**

**FASE 2: CAMPO**

**FASE 3: TABULACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA  
INFORMACIÓN**

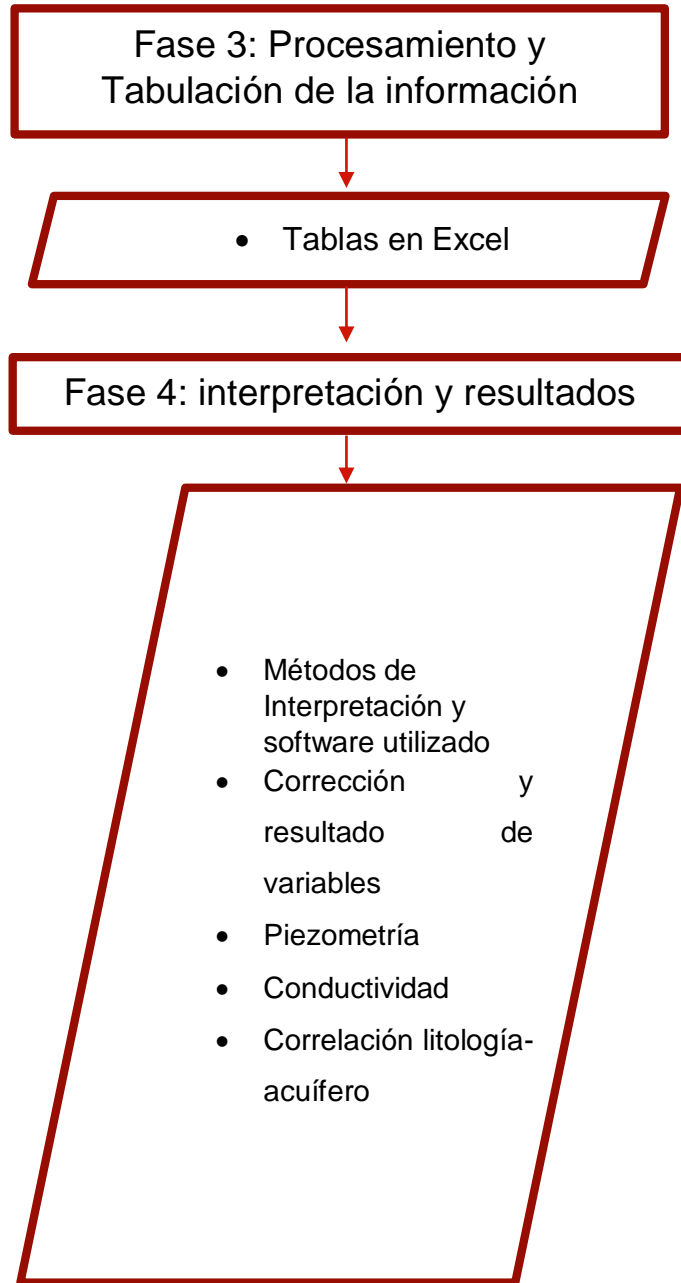
**FASE 4: INTERPRETACIÓN**

### 3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo adecuado de este trabajo fue necesario tener una metodología a seguir, en donde se engloba la recopilación y análisis de la información que sustenta el desarrollo de esta investigación. Por lo cual se desarrolló un diagrama de flujo (ver, figura 8) donde se plasmó el orden de las acciones que se realizaron para el inventario de puntos de aguas subterráneas en el municipio de Manaure

**Figura 8.** Mapa conceptual de la metodología del inventario de captación de agua subterránea del municipio de Manaure.





Fuente: Elaborada por el Autor.

### 3.1. Fase 1: planificación

Se recopiló la información geológica y se consultaron informes sobre aguas subterráneas (Corpoguajira) y se consultaron libros de hidrogeología que proveen un enfoque general del estudio de estos sistemas de flujo, normas de calidad, aprovechamiento y saneamiento del agua. La información fue seleccionada, ordenada, analizada para tener bases de datos que permitieron el normal desarrollo del inventario.

Previo a la fase de campo se elaboró el formato para recolectar la información suministrada y llevar un control (figura 8).

### 3.2. Fase 2: campo

El trabajo de campo se desarrolló en 2 meses y medio, el cual se efectuó entre los meses de junio a agosto de 2016. Esto fue fundamental debido a que permitió recolectar la información de la investigación y obtener la base de datos para elaborar el inventario de agua subterránea del municipio de Manaure.

#### **Materiales y medición de características físico-químicas**

Se realizaron salidas de campos a los lugares (comunidades indígenas y fincas) donde existen puntos de agua subterránea con el fin de conocer la información requerida para atestar el formato como se muestra a continuación en la figura.

Durante las salidas de campo se utilizaron los siguientes equipos: GPS, sonda de nivel, multiparámetro, cámara fotográfica, libreta para apuntar.

- GPS de travesía 64S, Garmin: utilizado para la localización y obtener las coordenadas de los puntos de captación, (ver, foto 1 y 2).

**Foto 1.** GPS de travesía 64S, Garmin.



Fuente: El autor.

**Foto 2.** Toma de coordenadas del punto de captación.



Fuente: El autor.



- **Multiparámetro HACH:** se utilizó para medir in situ características como pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica y Solidos Totales Disueltos (ver, foto 3 y 4). Se tomaron muestras de aguas con una cantidad considerable, se dejó reposar y se procedió a introducir las sondas en esta, para obtener el valor de las características, además de ser un equipo fácil de manejar y portátil, tiene una buena precisión, lo que hace que el trabajo de campo sea muy efectivo, para obtener resultados rápidos y confiables.

**Foto 3.** Multiparámetro HACH.



Fuente: El autor.

**Foto 4.** Toma de características físico-químicas.



Fuente: El autor.

Es necesario calibrar el medidor, normalmente esto se logra usando estándares de calibración. Este procedimiento se realiza cada vez que se vaya a dar uso a los electrodos.

- Sonda eléctrica OTT: Los niveles se miden con una sonda eléctrica que consiste en un electrodo conectado a través de un cable a una linterna que emite una corriente. Cuando el electrodo toco el agua, se cierra el circuito originando un sonido y se mide la longitud hasta el electrodo con una cinta métrica. Los niveles de agua se referencian siempre al nivel del terreno, en la boca del pozo (ver, foto 5 y 6).

**Foto 5.** Sonda de nivel OTT.



Fuente: El autor

**Foto 6.** Medición de nivel del agua.



Fuente: El autor.

**Ilustración 1.** Formato con información de usuario captación de agua subterránea.

**Formato para el inventario de captación de aguas subterráneas.**

**1. Información general**  
 Nombre del predio: Cacerías de Tapaná, fecha de visita: 10/05/2018  
 Tipo de pozo: Pozo, condiciones del pozo: funcionando  
 propietario: Dr. Arquero Contreras

**2. Ubicación geográfica**  
 Departamento: La Paz, Municipio: Miraflores  
 Vereda o Comunalidad: Comunidad de Tapaná, Coordenadas: 10° 37' 42" N  
82° 42' 31" W

**3. Características de la captura y almacenamiento**

Datos de construcción	Método de vertedero	Método de almacenamiento
Fecha: _____	bomba sumergible <input type="checkbox"/>	aljibe <input checked="" type="checkbox"/>
dámetro exterior: <u>60 cm</u>	molino de viento <input checked="" type="checkbox"/>	tanque elevado <input type="checkbox"/>
Prof. de perforación: <u>30 m</u>	Otro - esbft: <u>rotativo</u>	nivel del agua: <u>10, 15 m</u>
materia de revestimiento: <u>PVC</u>	Tipo de energía? <u>Electricidad</u>	

**4. Características físicas y químicas del agua**  
 pH: 7.1, Temperatura (T °C): 20.0, Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) (mg/l): 1.11  
 Conductividad eléctrica (µS/cm): 202, % DE: \_\_\_\_\_ TDS (mg/l): 105  
 Sólidos: 0.5  
 Color: 10 unidades

**5. Uso del agua**  
 Abastecimiento público  N° de usuarios? 50  
 Uso doméstico  N° de usuarios? 50 Agrícola   
 Pecuaria  N° de animales? 300 Otro - Culti? \_\_\_\_\_  
 Fuente de abastecimiento: Principal

**6. Información suministrada por**  
 Nombre: Enay Espinosa  
 celular: 245663332  
 tipo de usuario: Propietario Persona jurídica

**7. Observaciones generales**  
 Fuente de abastecimiento principal, el Molino de Viento está dañado.

Diligenciado por: Arquero P. Contreras B.

Fuente: El autor

- Formato para el inventario de captación de aguas subterráneas: se realizó con las variables a conocer y se utilizó con el fin de recopilar la información de los pozos y persona responsable (ver, ilustración 1 y foto 7).

**Foto 7.** Recolectando la información del formato.



Fuente: El autor

**Foto 8.** Inspección de las instalaciones del pozo.



Fuente: el autor

- La recolección de las muestras de agua de cada pozo se hicieron con el fin de obtener datos reales de las características físico-químicas. El procedimiento se basó en lo dicho en la norma RAS 2000, que es el siguiente:
  - ✓ Inspección en las instalaciones (foto 8).
  - ✓ Toma de muestra se realizó de forma manual en un recipiente de vidrio con un volumen de 1 litro, es llenado de agua dejando un espacio mínimo 1 % y se le puso una tapa de rosca para su conservación y debido transporte al laboratorio (foto 9, 11 y 12).

**Foto 9.** Reelección de muestra de agua.



Fuente: el autor

- Codificación, donde se colocó toda la información del punto como: código, fecha, nombre del lugar (ver, foto 10).

**Foto 10.** Muestra de agua en recipiente para llevar a laboratorio.



Fuente: el autor

**Foto 11.** Conservación de la muestra, durante su transporte.



Fuente: el autor

Son debidamente refrigeradas para su conservación y realización del respectivo análisis colorimetría en el laboratorio ambiental de Corpoguajira, acreditado y certificado bajo la norma NTC/ISO/IEC 17025:2005 “Requisitos generales de



competencia de laboratorios de ensayo y calibración” (foto 12).

**Foto 12.** Muestras de agua en refrigeración.

Fuente: El autor

➤ **Análisis realizado a las muestras de aguas en laboratorio ambiental Corpoguajira** Colorimetría, que fue realizado por el personal de laboratorio con el colorímetro, para conocer el color de las muestras de agua (ver, foto 13).



**Foto 13.** Equipo de laboratorio para determinar el color, colorímetro.



Fuente: El autor

### **3.3. Fase 3: Procesamiento y Tabulación de la información**

En esta fase los datos obtenidos fueron llevados a una tabla en Excel para ser procesados, los datos en este caso son clasificados para hacer que el proceso sea fácil y rápido. Durante el proceso se ejecutaron las operaciones necesarias para convertir los datos en información significativa y todo esto al final servirá como base para tomar decisiones, como los datos por tabular son un número grande se acudió a un procesamiento electrónico de datos Excel ,con la finalidad de generar resultados que se muestran en una tabla (tabla 2).

**Tabla 2.** Formato en Excel para tabulación de la información recolectada en campo.

INVENTARIO DE CAPTACION DE AGUA SUBTERRANEA EN EL MUNICIPIO DE MANAURE																												
Número	Información del punto					Localización del punto			Características del pozo o aljibe						Características físico-químicas del agua						Uso del agua	Información suministrada por			Observaciones generales			
	Nombre del predio	Tipo de punto	Condiciones del punto	Diagnóstico	Fecha	Departamento	Municipio	Coordenadas	Diámetro interior	Diámetro exterior	Profundidad	Material de revestimiento	Método de extracción del agua	Tipo de energía	Nivel del agua	pH	Temperatura	Conductividad eléctrica	Sólidos disueltos Totales	Salinidad		Densidad	Color	Nombre		Celular	Tipo de usuario	

Fuente: el autor

### 3.4. Fase 4: interpretación de datos

#### **Métodos de Interpretación y software utilizado**

Después de haber realizado las visitas de campo se procedió a trabajar los datos obtenidos. Para la elaboración de los mapas del presente trabajo se utilizó el siguiente software: ArcGIS 10.2.2 es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica (SIG) y evolución del nivel estático.

Excel 2013, es un programa destinado a la creación, modificación y manejo de hojas de cálculo y bases de datos.

Se utilizó además el Google Earth versión 2011 para la ubicación de la zona de estudio, este que provee imágenes satelitales de cualquier parte del mundo que pueden ser desplegadas como mapas o como relieve topográfico.

#### **Corrección y resultado de variables**

Se obtuvieron 428 puntos de captación, los cuales fueron procesados y tabulados en Excel (ANEXO 11).

Al tomar las mediciones del nivel freático en el pozo o aljibe el bordo libre no estaba referido, por lo cual fue necesario hacer una corrección topográfica a todos los datos para obtener el nivel freático corregido (ver, foto 14). El proceso fue restarle al nivel estático los metros del bordo libre como se observa a continuación, (ver, tabal 3).

Nivel freático (metros) – bordo libre (metros)= nivel freático corregido

$$8,92 \text{ m} - 1 \text{ m} = 7,92 \text{ m nivel estático corregido}$$

**Foto 14.** Medición de nivel estático en pozo CT01.



Fuente: elaborado por el autor.

**Tabla 3.** Datos de nivel freático corregido.

NIVEL DEL AGUA (m)
NA
7,32
39,9
12
11
10
5,43
8,08
50
10,07
40
15,55
40
..

Fuente: elaborado por el autor.

Las características fisicoquímicas pH, temperatura, conductividad eléctrica, Solidos Totales Disueltos y salinidad fueron obtenidas directamente en in situ, el color en laboratorio, mientras que la densidad fue obtenida mediante la ecuación 1 siguiente (ver, tabla 4):

$$\rho = 1000 + 0.8554S - 0.0065 (t - 4 + 0.2214S)^2$$

Ejemplo:

**Tabla 4.** Valores de características fisicoquímicas del punto CT01.

Punto	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µs/Cm)	Color	Total de solidos disueltos (mg/l)	pH	Salinidad
CT01	30,3	997	Incolora	370	7,2	0,3

$$\rho = 1000 + 0.8554 (0,3) - 0.0065 (30,3 - 4 + 0.2214 (0,3))^2 = 995.73$$

### **Piezometría**

El estudio piezométrico se inició en campo con las mediciones al nivel freático de los pozos o aljibes, estos datos, junto con aquellos del borde libre, permiten generar mapa piezométrico, Los resultados se plasman sobre una base topográfica y se interpolan los datos con el modelo IDW, se generan con la herramienta Toolboxes, luego System Toolboxes, luego Spatial Analyst Tool, luego Surface Y POR ULTIMO Contour, se generaron líneas de igual profundidad, estas líneas proporcionan información sobre los niveles del agua subterránea en el acuífero.

### **Conductividad**

El estudio de conductividad se inició en campo con las mediciones de la conductividad eléctrica de las muestras de agua, Los resultados se plasmaron sobre una base topográfica y se interpolaron los datos con el modelo IDW, se generan con la herramienta Toolboxes, luego System Toolboxes, luego Spatial Analyst Tool, luego Surface Y POR ULTIMO Contour, se generaron líneas de igual profundidad, generando información del grado de mineralización del agua.

### **Correlación litología-acuífero**

Para esta interpretación se tomó la geología local existente, de esta se identificaron las unidades geológicas, textura y posibilidad hidrológica del municipio de Manaure,

con esta información inferimos la permeabilidad del área de estudio y correlacionamos litología-acuífero.

# Capítulo 4

## GEOLOGÍA

GEOLOGÍA REGIONAL

GEOLOGÍA LOCAL

## 4. GEOLOGÍA

### 4.1. Geología regional

#### 4.1.1. Estratigrafía

La Península de La Guajira está caracterizada por una serie de macizos aislados, rodeados por regiones planas y cuencas sedimentarias de edad Cenozoica. Geológicamente estos macizos pueden dividirse en tres dominios litotectónicos coherentes (**Álvarez, 1967; Lockwood, 1964, MacDonald, 1964**) de SE a NE incluyen: (1) un dominio de basamento constituido por rocas metamórficas Mesoproterozoicas y Paleozoicas, cortado por un plutonismo Jurásico (**Cardona-Molina et al., 2006**); (2) una serie de unidades metavolcanosedimentarias de edad Cretácica integrada por las formaciones Jarara y Etpana, asociadas a rocas máficas y ultramáficas de carácter plutónico y cortadas por rocas magmáticas de edad Eocena (**Cardona et al., 2007**); y (3) un segmento poco deformado constituido por rocas sedimentarias Mesozoicas correlacionables con los sistemas depositacionales de la margen autóctona de Suramérica (**Villamil, 1999**).

Particularmente para la Subcuenca de la Baja Guajira las rocas premesozoicas y mesozoicas afloran en la parte norte de la subcuenca, en la parte sur estas unidades se hallan parcialmente presentes debajo de una cobertera sedimentaria del Paleógeno y Neógeno (F. Jimol y Castilletes). El basamento preMesozoico aflora en la parte más noroeste de subcuenca al oeste Serranía de Cosinas y de la Falla de Paralapo. Las rocas del Triásico (Grupo Cojoro: F. Guasasapa y F. Rancho Grande), del Triásico- Jurásico de la F. Uitpana y del Jurásico (F. Cheterló, Cajú, Chinapa y Jipi) afloran en la parte noreste de la subcuenca en la Serranía de Cosinas. Las unidades del Jurásico también afloran en la región conocida como el “Surco de la Guajira”.



En relación con la presencia de unidades del Triásico y Jurásico en la parte más sur de la subcuenca, **Rubio et al. (1998)** reporta la presencia de la Formación La Quinta (formaciones Guasasapa y Rancho grande).

En relación con las unidades Cretácicas aflorantes en la Subcuenca de la Baja Guajira se reportan la Formación Kesima en el área del Surco de la Guajira, según **Rodríguez y Londoño (2002)** las formaciones Palanz, Moina, Yuruma, Apón, Macara, La Luna y Guaralamai afloran en la Serranía de Cosinas. En la parte sur de esta subcuenca se reporta la presencia de unidades del Cretácico, según **Rubio et al. (1998)** sobre la discordancia del Pre-Cretácico se depositaron sedimentos de las formaciones Río Negro (formaciones Kesima, Palanz y Yuruma), Cogollo, Maraca y La Luna; y reportan la presencia de la Formación Colón (F. Guaralamai). Según **Rubio et al. (1998)**.

En la Subcuenca de la Baja Guajira, los afloramientos son escasos, por lo cual el conocimiento Geológico se basa tanto en la interpretación de datos del subsuelo obtenidos mediante las perforaciones de pozos, como en los afloramientos presentes en la Serranía de Cosinas.

Las formaciones presentes en la Subcuenca de la Baja Guajira comprenden el rango de edades va desde el Jurásico Inferior hasta el reciente, abarcando ambientes de depósito continentales y marinos, **Pulido et al. (1991)** considera que en términos generales, la secuencia Mesozoica de la Subcuenca de la Baja Guajira es similar a la descrita para la Cuenca de Maracaibo. (Ver ANEXO 1 y 2).

#### 4.1.2. Geología estructural

El Departamento de La Guajira se encuentra localizado en el extremo norte de Colombia, en el noroccidente de Suramérica, donde interactúan las placas Caribe y Suramérica; dicha interacción, sumada a los eventos orogénicos que han afectado el territorio colombiano, han causado que las unidades geológicas que

afloran en el área presenten diferentes estilos estructurales relacionados a cada uno de dichos eventos, y la evolución estructural es compleja y ligada tanto a la del noroccidente de Suramérica como a la del Caribe.

Las características estructurales presentes en el Departamento de La Guajira se relacionan con tres áreas separadas por grandes fallas, cada una de las cuales presenta una fisiografía propia resultante de la litología y de los eventos tectónicos: La región al norte de la Falla Oca que comprende la península de La Guajira, la región al sur de esta falla que corresponde a la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía de Perijá. En cada área se describen las estructuras principales y se hace una discusión general sobre la influencia que tienen en la geología del área (ANEXO 3).

Dos trenes estructurales dominan la tectónica regional de La Guajira y buena parte del norte de Suramérica:

Un tren regional de dirección N-NE a NE, presente a todo lo largo de Los Andes de Colombia, el cual a la altura de Pailitas (Cesar) se arquea en dirección NE, para continuar con esta tendencia hasta la Alta Guajira. Las estructuras tectónicas regionales y las unidades litológicas siguen este tren estructural. En La Guajira las evidencias superficiales indican que las fallas de este sistema fueron activas hasta finales del Cretácico y principios del Paleógeno.

Un tren estructural E-W a NW-SE compuesto por fallas de movimiento dextral con una importante componente vertical, se caracteriza por cortar y desplazar el tren regional N-NE a NE, y la estructura más importante de este sistema es la Falla Oca que representa el límite sur del sistema en Colombia. La influencia de los esfuerzos que generaron este tren estructural se extiende hacia el sur a lo largo de la Falla Santa Marta - Bucaramanga. En la península de La Guajira el tren E-W a NW-SE causa el levantamiento, hundimiento y desplazamiento de los bloques que forman las serranías de Cosinas, Simarúa, Jarara y Macuira, además del levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta y el truncamiento de la serranía de Perijá. Este tren estructural tuvo su mayor actividad durante el Eoceno temprano Oligoceno, y

probablemente se formó como resultado del rozamiento y del choque de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana.

## **Fallas de dirección N-NE a NE**

### **Falla Kasipoch**

Fue definida por Álvarez (1967) y se presenta en el suroccidente del área de Simarúa. La falla tiene una dirección N60°E, con inclinación del plano de falla hacia el noroeste y una extensión aproximada de 20 km. Se identifica fácilmente en fotografías aéreas, pero difícilmente en campo; evidencias de su presencia son algunos espejos de falla, paralelos a la foliación del Grupo Macuira, los cuales indican que ha tenido desplazamientos inversos a lo largo de su plano, que afectan el Grupo Macuira, pero se desconoce la magnitud del desplazamiento.

### **Falla Puralapo**

MacDonald (1964) menciona esta falla como uno de los rasgos estructurales pre Paleógeno - Neógeno, que limitan al noroeste la Fosa de La Guajira y se localiza en el lado occidental de la serranía de Cosinas.

La Falla Puralapo tiene una tendencia general N60°E y su extensión es aproximadamente de 18 km; el extremo suroccidental está cubierto por sedimentos cuaternarios y el extremo noreste truncado por la Falla Cuisa. Irving (1972), en el mapa geológico de la península de

La Guajira, ilustra el movimiento de la falla con el bloque occidental levantado y el bloque oriental hundido. Muy probablemente esta falla buza al noroccidente y hace parte del tren estructural regional N-NE paralelo a las fallas Santa Ana y Kasipoch, las cuales tienen un movimiento inverso.

La Falla Puralapo limita por el oriente rocas de posible edad precámbrica, Leucogranito de Jojoncito y el Grupo Macuira, y pone en contacto rocas del Jurásico y Cretácico (formaciones Jipi y Palanz, respectivamente)

## **Sistema de Fallas de Cosinas**

Renz (1956) define el Sistema de Fallas Cosinas como transcurrente, con dirección general N85°E, y desconoce su inclinación. Posteriormente, Rollins (1965) analiza la parte estructural del área de Cosinas y considera que el Sistema de Fallas Cosinas corresponde a un tren estructural de cabalgamiento longitudinal. Esta estructura se localizada en la parte suroriental del área de Cosinas, el extremo occidental de la falla está cubierto por sedimentos aluviales recientes y el extremo oriental está cubierta por calizas del Oligoceno.

En este trabajo se considera que el Sistema de Fallas Cosinas hace parte del tren estructural regional N-NE a N-E, que se trata de una falla de cabalgamiento, pero debido a la rotación y la deformación del bloque Cosinas, limitado por las fallas de Puralapo y Cuisa, el tren estructural regional ha adoptado una tendencia N85°E, como se observa en la dirección general que tienen las unidades litológicas y las estructuras de falla y plegamiento y la deformación causada al bloque por las fallas de dirección NW que deforman el bloque en sentido E-SE.

El Sistema de Fallas Cosinas está compuesto por numerosas fallas subparalelas, que tienen una extensión aproximada de 60 km, con tendencia general hacia el E o levemente hacia el

NE. La inclinación de las fallas no ha sido observada, pero arbitrariamente se ha representado como cercana a la vertical. Aunque (Renz 1956, en Rollins, 1965) indicó que la Falla Cosinas es de tipo transcurrente, las evidencias de campo sugieren que el movimiento de rumbo es menor y que su mayor movimiento se dio a lo largo del buzamiento y ocurrió durante la fase final de deformación.

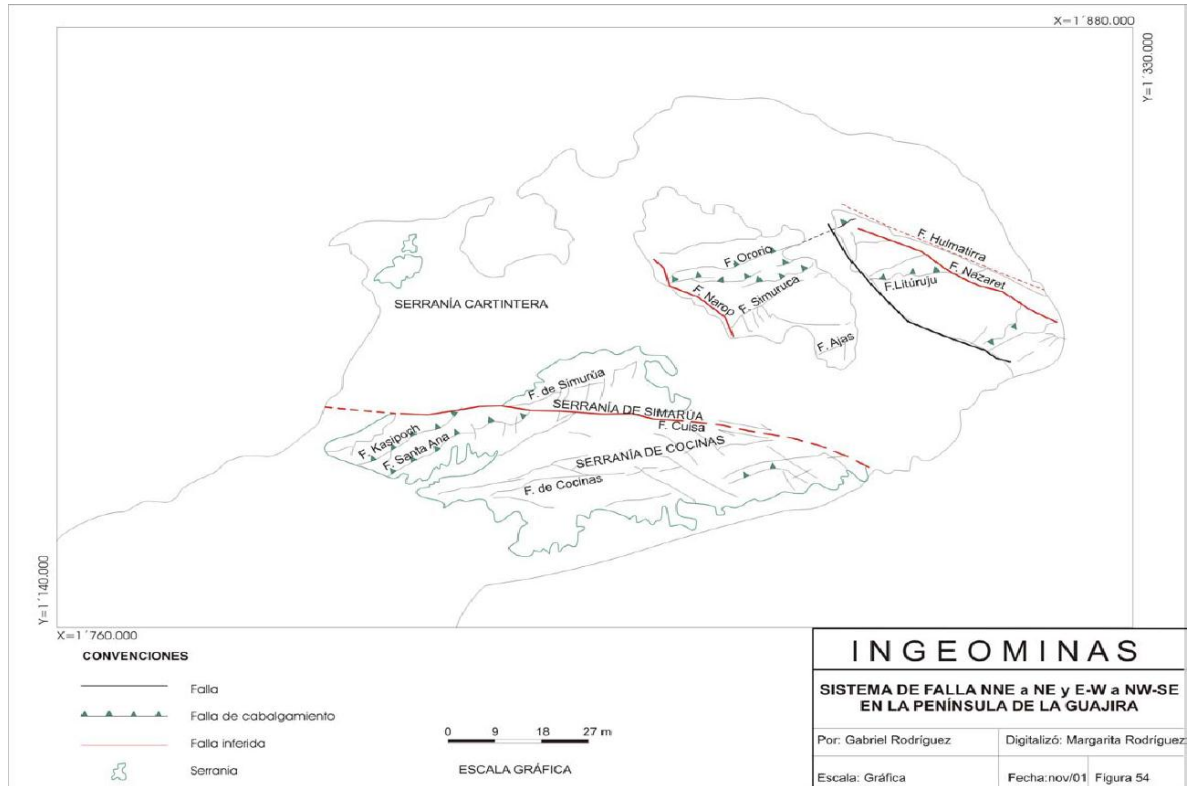
La tendencia promedio del Sistema de Fallas Cosinas es N84°E, paralelo al eje del pliegue que se encuentra entre la Falla Cuisa y el Sistema de Fallas Cosinas que afecta rocas jurásicas y cretácicas. Cortando este sistema hay un conjunto de fallas de rumbo con movimiento lateral derecho y tendencia promedio N58°W y un conjunto de fallas menores con tendencia N16°E y movimiento de rumbo lateral

izquierdo, formados en una fase posterior (Rollins, 1965); ambos conjuntos deforman el tren regional N-NE a N-E y lo rotan hasta quedar en dirección aproximada N84°E.

El bloque limitado por la Falla Cuisa y el Sistema de Fallas Cosinas está fuertemente deformado y fracturado en el extremo nororiental, presenta un acortamiento en sentido

NW-SE, representado no sólo por fallamiento, sino también por una estructura en anticlinal tumbado con vergencia de las capas hacia el norte, que se extiende por unos 20 km hasta chocar contra la Falla Cuisa al oriente. El tren estructural regional de las unidades y estructuras más antiguas, como la Falla Cosinas y el pliegue, fueron deformados, se doblaron hacia el este, cambiaron la dirección regional de las unidades y fallas de N50-60°E a N80°E, doblez que posiblemente fue el resultado de los esfuerzos generados por la Falla Cuisa sobre el bloque sur, y se formó un sistema de fallas cortas a manera de escamas con dextral. Al sur del Sistema de Fallas Cosinas, los pliegues son más suaves y amplios, lo que indica un menor esfuerzo compresivo. El bloque sur de la Falla Cuisa y al oriente de la Falla Puralapo está rotado hacia el este, como lo indican las estructuras N-NE y la mayor deformación se presenta en el borde del bloque contra la Falla Cuisa. Para Rollins (1965), la mayor parte de las estructuras pertenecientes al sistema de fallas longitudinales son de cabalgamiento de alto ángulo o fallas inversas presumiblemente relacionadas genéticamente.

**Figura 9.** Sistema de fallas NNE a NE y E-W a NW –SE en la Península de La Guajira.



Fuente: INGEOMINAS, 2001

## Fallas de dirección E-W a NW-SE

### Falla de Cuisa

Es una falla transcurrente lateral derecha de alto ángulo (**Gómez, 2001; Mercado, 2003**), con cerca de 15 km. de desplazamiento lateral derecho en la parte continental de la Península de la Guajira (**Álvarez, 1967; MacDonald y Doolan, 1970**), y con una componente en la vertical hacia el sur, generando en la zona interna estructuras en flor positivas. (**Rodríguez y Guerrero, 2009**); se extiende en dirección E-W a través de la parte norte de la península, y se prolonga hacia el oriente pasando cerca de la bahía de Cocinetas y continuando a través del Golfo de

Venezuela, hasta el sureste de la península de Paraguaná (**Rollins, 1965**), de acuerdo con **Vence (2008)** en el Golfo de Venezuela cambia su dirección predominante a NW-SE.

Tiene una extensión aproximada de 80 km corresponde al límite norte de la Serranía de Cosinas, separa rocas metamórficas del pre-Mesozoico, Cretácico, sedimentos del Cenozoico presentes en el bloque norte de la falla, de rocas del pre-Mesozoicas, metamórficas del Cretácico y sedimentos del Mesozoico del área de Cosinas. El extremo occidental de la falla, en la península de La Guajira, está cubierto por depósitos del Eoceno al Holoceno (**Ramírez, 2006; Vence, 2008**), y el extremo oriental, a pocos kilómetros del pueblo de Porchina, está cubierto por sedimentos del Oligoceno (**Rollins, 1965**).

### **Falla de Oca**

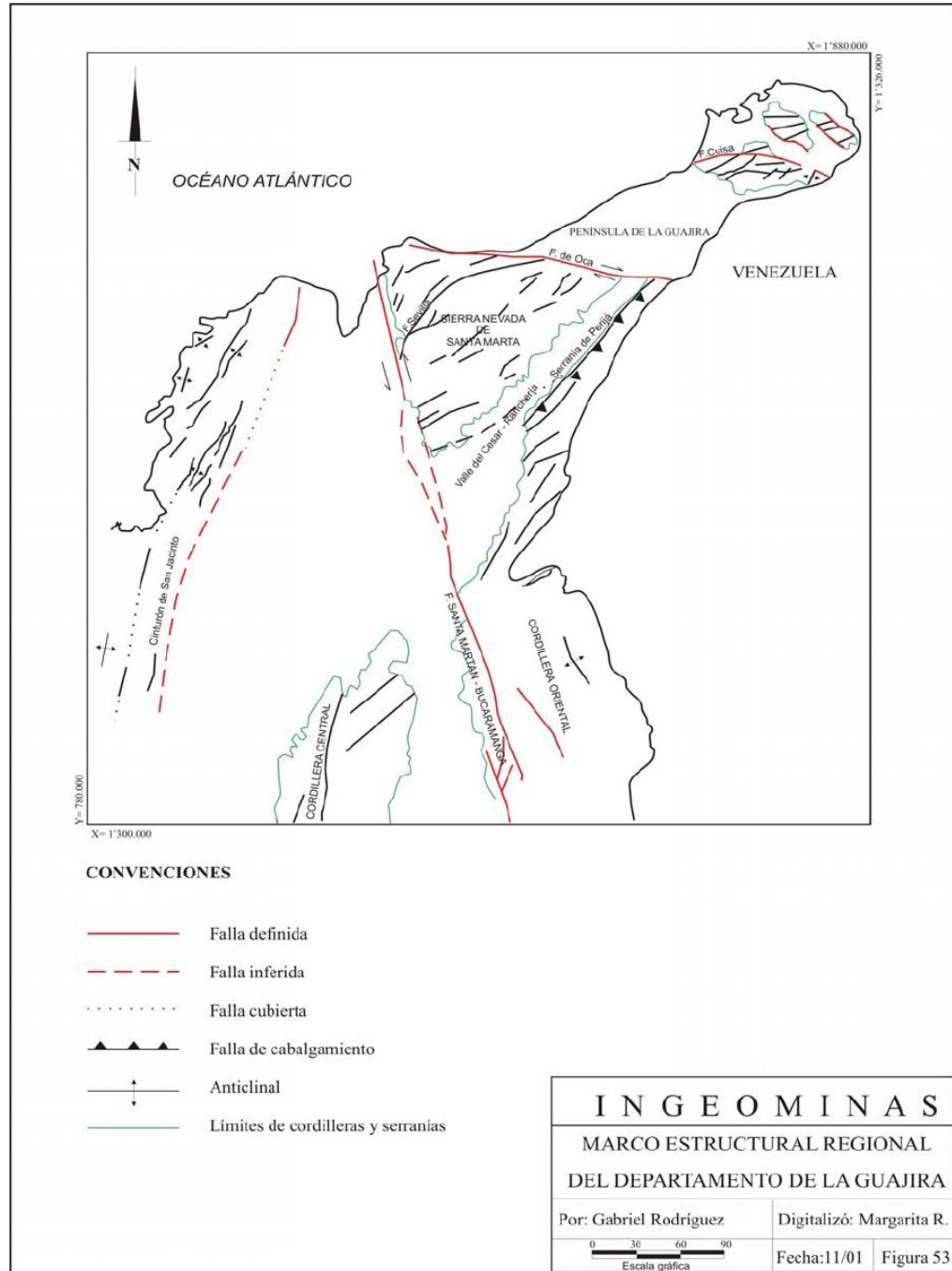
Constituye un sistema transcurrente, con una dirección general E-W, aunque el desplazamiento principal ha sido muy discutido, la mayoría de los autores coincide que es lateral derecho (**Acosta, 1997; Rubio et al., 1998; MacDonald, 2001; Gómez, 2001**), se ha documentado un desplazamiento al menos de 15-20 km en la Cuenca de Falcon (Venezuela) (**Feo-Codecido, 1972; Tschanz et al., 1974**) y estimado entre 65 y 195 km (**Tschanz et al., 1974; Cediell et al. 2003**), con una componente importante de desplazamiento vertical. Es la falla más importante del sistema E-W a NW, se extiende aproximadamente por 300 km desde el extremo noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, donde se cruza con la Falla Santa Marta - Bucaramanga, hasta la Isla de Toas y, posiblemente, se prolonga

hasta su intersección con la Falla Boconó en Venezuela, para posteriormente unirse con la Falla San Sebastián - El Pilar (**Rodríguez y Londoño, 2002**).

Los rasgos morfológicos y estructurales más importantes de la Falla de Oca en el Departamento de La Guajira son: (1) el levantamiento del bloque sur que forma la Sierra Nevada de Santa Marta, (2) la culminación abrupta de la Serranía de Perijá y (3) la región deprimida que forma el bloque norte de la falla a lo largo de toda su traza en Colombia y Venezuela, rasgos que indican que la falla no sólo tuvo un importante movimiento lateral derecho, sino una componente vertical. (Ver figura 9, ANEXO 3).



**Figura 10.** Marco Estructural Regional Del Departamento De La Guajira.



Fuente: INGEOMINAS, 2001.

## **4.2. Geología local**

A continuación se presenta la geología local de la zona de estudio. (Ver, figura 9 y ANEXO 3).

### **4.2.1. Estratigrafía**

#### **Unidades del Paleógeno- Neógeno**

##### **FORMACIÓN MONGUÍ**

Mosquera et al. (1976) definen la Formación Monguí para agrupar los sedimentos paleógenos y neógenos que afloran hacia el sur de la Troncal del Caribe, al sur del departamento; toma su nombre de la localidad de Monguí donde se presentan buenos afloramientos. En el departamento aflora en la zona de la Baja Guajira desde los alrededores de Dibulla hasta un poco al este de Riohacha a partir de donde es cubierta por sedimentos cuaternarios.

#### **Depósitos Cuaternarios**

##### **Depósitos de playón (Qp)**

Esta unidad está constituida por depósitos de playón y de barra que se encuentran paralelos a la línea de costa en gran parte del departamento.

Los depósitos de barra están constituidos por acumulaciones de poco espesor de arenas gruesas a medias y limos con estratificación cruzada compleja. En el departamento se localizan entre Manaure y Cardón, y en Puerto Lodo (Mosquera et al., 1976).

Los depósitos de playa están conformados por sedimentos semiconsolidados formados por la acumulación de arcillas arenáceas de colores variados y arcillas plásticas (Huguett, 1988). Las arenas de la Alta Guajira están compuestas por

cuarzo, feldespatos, óxidos, fragmentos de rocas y conchas mientras que en la Baja Guajira son ricas en ferromagnesianos y óxidos provenientes de los ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta ((Molina et al., 1998).

### **Depósitos Dunas (Qd)**

Depósitos de arenas eólicas se encuentran a lo largo de toda la costa norte de la península de La Guajira, entre Pilon de Azúcar y Boca de Apure (Álvarez, 1967), así como en la parte nororiental y norte central de la serranía de Jarara, donde rellenan completamente algunos valles y se extienden aun sobre la pendiente de la serranía (Lockwood, 1965).

Estos depósitos están cubiertos por vegetación de arbustos y se encuentran profundamente disecados a lo largo de los arroyos, pueden alcanzar hasta 50 m de espesor; por lo general ocurren en franjas lineales de 1 a 2 km de amplitud que reflejan las direcciones predominantes de los vientos. Están constituidos por arenas de tamaño medio, de color amarillo grisáceo a amarillo rojizo, compuestos totalmente por granos de cuarzo bien seleccionados y bien redondeados (Lockwood, 1965).

MacDonald (1964) reporta la presencia de extensos depósitos de arenas en el lado Nororiental de la serranía de Macuira; esta serranía actuó como barrera durante el depósito de estas arenas, de tal forma, que éstas solamente se encuentran en la parte norte de Macuira.

Según Lockwood (1965), estas arenas se depositaron durante uno o más períodos en el Pleistoceno, cuando el nivel del mar estaba mucho más bajo que el actual, y que habría generado una extensa planicie al este y noreste de la península, que habría sido la fuente para los grandes volúmenes de arena depositados en La Guajira. La localización de estos depósitos sobre las márgenes nororientales de las serranías indicaría que éstos se derivaron del noreste y, en este caso, una fuente posible, según MacDonald (1964), podrían haber sido los extensos depósitos de la margen nororiental de la Costa Caribe.

En la zona de la Baja Guajira se presentan numerosas acumulaciones de arenas eólicas, muchas de ellas cubiertas por vegetación o retrabajadas por las corrientes que drenan el área. La dirección predominante de las dunas es E-W (Mosquera et al., 1976).

### **Depósito de cauce aluvial (Qal) y Depósitos de cauce aluvial der Rio Rancheria (Qalr)**

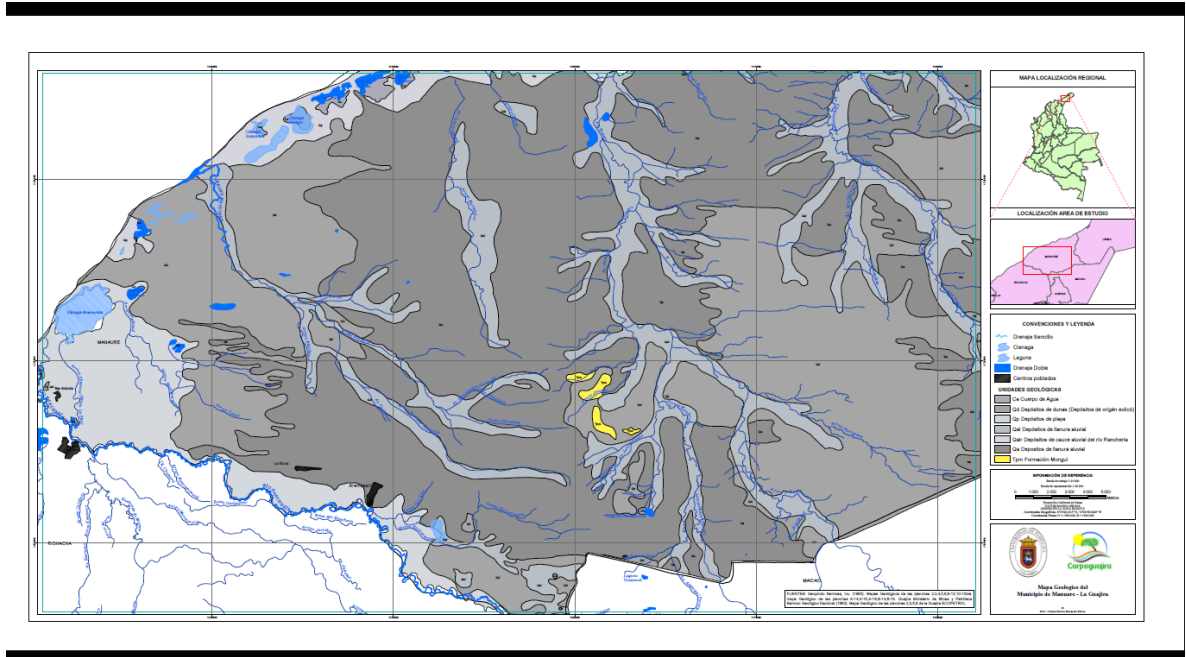
Corresponden a depósitos acumulados por ríos y arroyos perennes en sus márgenes, mientras que en los arroyos intermitentes en los períodos de sequía estos sedimentos se encuentran en los cauces (Mosquera et al., 1976).

### **Depósitos de llanura aluvial (Qa)**

Esta unidad corresponde a depósitos semiconsolidados a no consolidados de origen aluvial y localmente con aporte eólico, constituidos por gravas, arenas y arcillas en proporciones variables de acuerdo con la distancia a la fuente de transporte; cubren áreas extensas en las zonas planas, deprimidas (Lockwood, 1965). Son de amplia distribución en el departamento, especialmente en la zona de la Baja Guajira y a lo largo del valle de los ríos Cesar – Ranchería.

Se han asignado al Holoceno (Lockwood, 1965), aunque algunos de ellos, por su posición relativamente elevada, podrían corresponder al Pleistoceno (Tschanz et al., 1969b). Ver figura 10, ANEXO 4.

Figura 11. Mapa geológico de la zona de estudio.



Fuente: Corpoguajira, ajustado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

#### 4.2.2. Geología estructural

Las posibles estructuras existente en la zona de estudio no son notables porque están cubiertas de los depósitos reciente.

# Capítulo 5

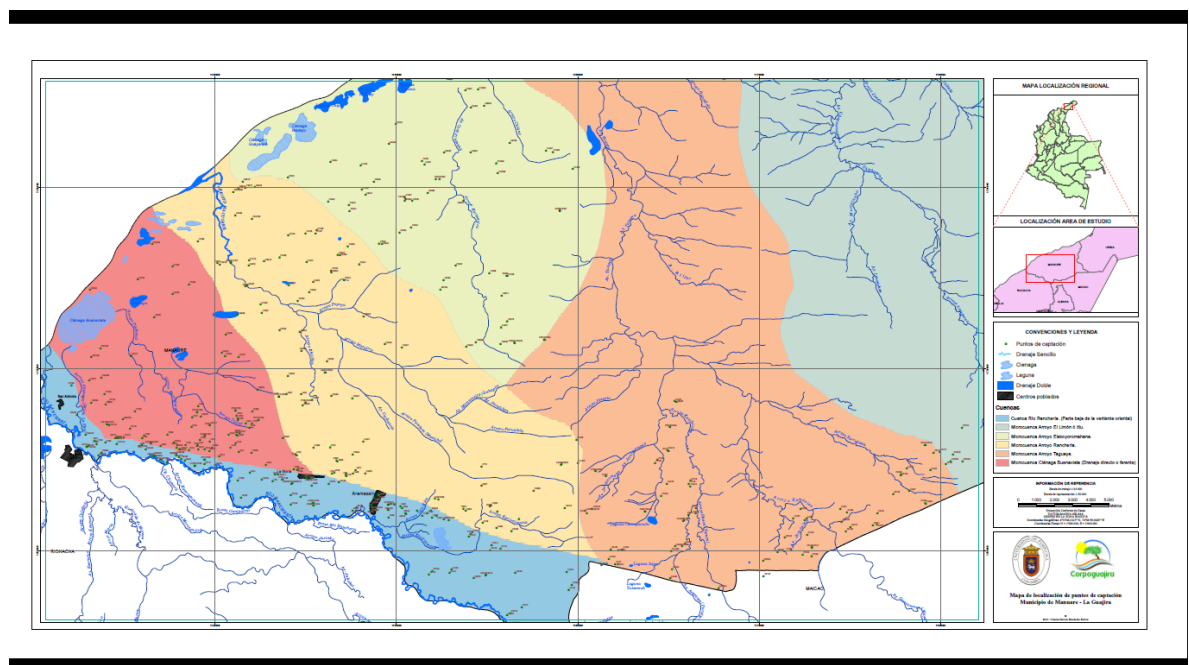
## RESULTADOS

## 5. Análisis de Resultados

### Identificación de captación

En la Figura 10 o ANEXO 5 se presenta el mapa elabora en el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW, sobre el cual se observa la localización de los 428 puntos que hacen parte del inventario de puntos de agua subterránea en el municipio de Manaure. A continuación se describen las características de interés.

Figura 12. Mapa de localización de puntos de captación.



Fuente: elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

### Tipo de captación

De acuerdo con la información recopilada y procesada se identificaron 428 puntos de agua subterránea, de los cuales 228 son pozos ,192 son aljibes y 8 no existen (tabla 5)

**Tabla 5.** Tipos de puntos.

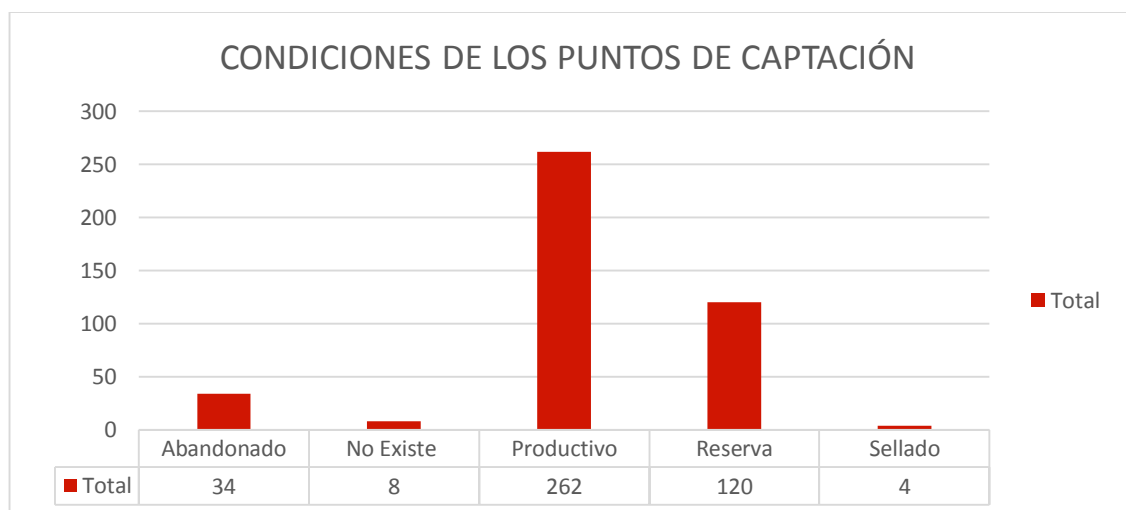


Fuente: elaborado por el autor.

### Condiciones de los puntos de captación

Los puntos de captación del municipio de Manaure presentan las siguientes condiciones, abandonados son 34, no existe son 8, productivos son 262, reservados son 120 y sellados 2 (tabla 6).

**Tabla 6.** Condiciones de los puntos de captación.



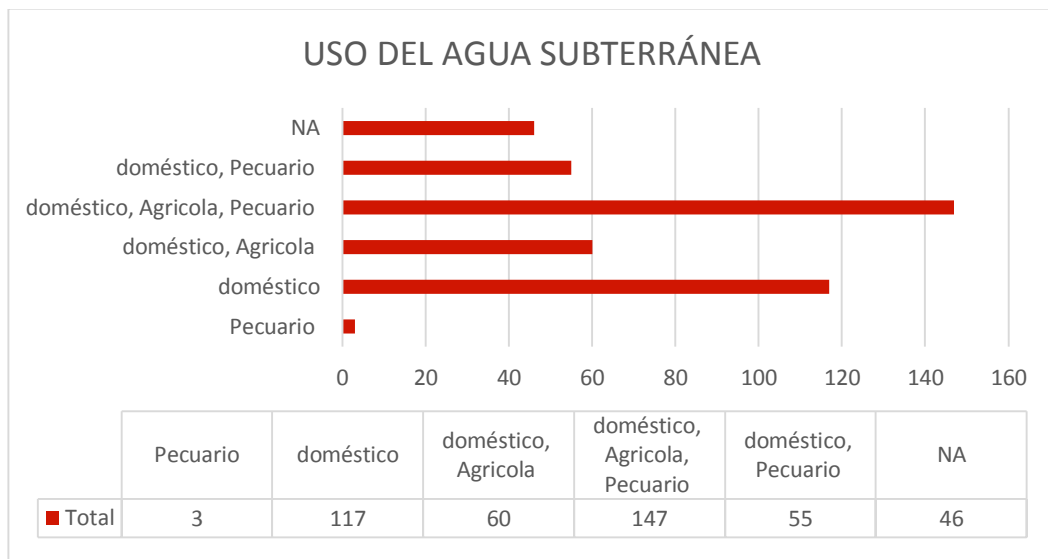
Fuente: elaborado por el autor.



## Uso del agua

Para los 428 puntos de agua identificados en este estudio se cuenta con registro del tipo de uso que se da al agua subterránea, doméstico - agrícola y pecuario son 147, doméstico son 117, doméstico y agrícola son 60, doméstico y pecuario son 55, pecuario son 3 y no aplica son 46, Los aprovechamientos se clasificaron según el uso del agua extraída (Tabla 7) se puede observar que el mayor uso que se le da al agua extraída es doméstico - agrícola y pecuario.

**Tabla 7.** Uso del agua



Fuente: elaborado por el autor.

## Profundidad

La profundidad mínima encontrada en un aljibe fue de 6 m y la máxima encontrada fue de 120 m en un pozo.

La gran variedad de componentes y características fisicoquímicas del agua subterránea exige su clasificación en grupos para tener una información breve y

sencilla sobre la composición química del agua de que se trate y de los aspectos de la misma.

### **Potencial de Hidrogeno**

El pH se encontró entre los valores 6,01 a 9,23, según el Decreto 475/98 los valores máximos admisibles físicas y químicas de la calidad del agua potable son 6.5 – 9.0.

6.0 – 8.5 Fuente aceptable

5.0 - 9.0 Fuente regular

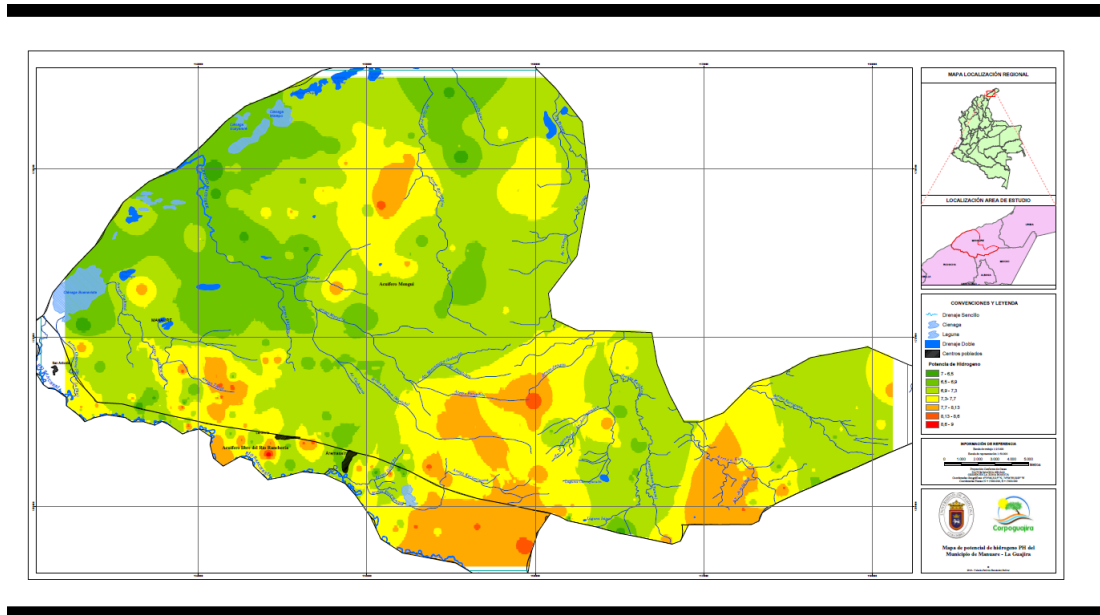
3.8 - 10.5 Fuente deficiente

El pH juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas naturales, en este caso se interpretó con los resultados obtenidos que los puntos de captación del municipio de Manaure pertenece a una fuente aceptable para su consumo (figura 11, ANEXO 6).

El pH se presentan cuatro sectores, el primer sector se localiza en límites con el mar caribe y en la planicie aluvial del arroyo Popoya, con valores que oscilan entre 6 hasta 7,3. El segundo sector está ubicado hacia la parte SE y se extiende hacia el norte con valores 7,3 hasta 8,6. El tercer sector se localiza con límites del municipio de Maicao con valores 7,3 hasta 8,6. El cuarto sector se presenta al norte con valores 7,3 hasta 8,6.

En la zonas de recarga el pH presenta valores superiores a 7 por lo tanto, se puede inferir que esto se deba a la presencia de óxidos de hierro, carbonatos e hidróxidos en el suelo. Mapa elabora en el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW.

**Figura 13.** Mapa de Potencial de Hidrogeno.



Fuente: elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

### Conductividad y isoconductividad

La conductividad se encontró entre los valores 9925 – 25 ms/m o 992,5 – 2,5  $\mu\text{s/cm}$ .

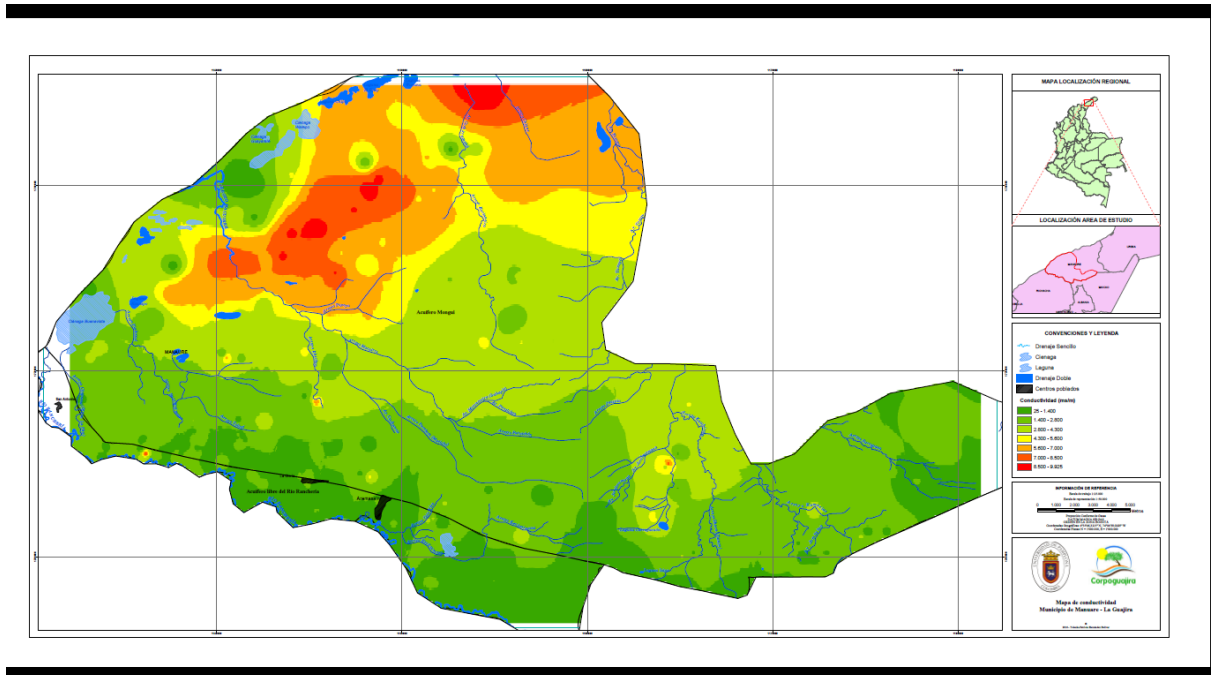
Como consecuencia de su contenido iónico, el agua se hace conductora de la electricidad, a medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también hasta cierto límite la conductividad, según los Valores guía, de agua dulce, salobre y salada Integrada con datos tomados de Custodio (1976) y (1987) y de Hem (1985).

	Agua dulce	Agua salobre	Agua salada
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s/cm}$ )	<1000	1000-10000	54000

Se interpretó con los resultados obtenidos (Figura 12, 13 y ANEXO 7, 8) el agua subterráneo del municipio de Manaure y según Custodio es su mayoría es agua

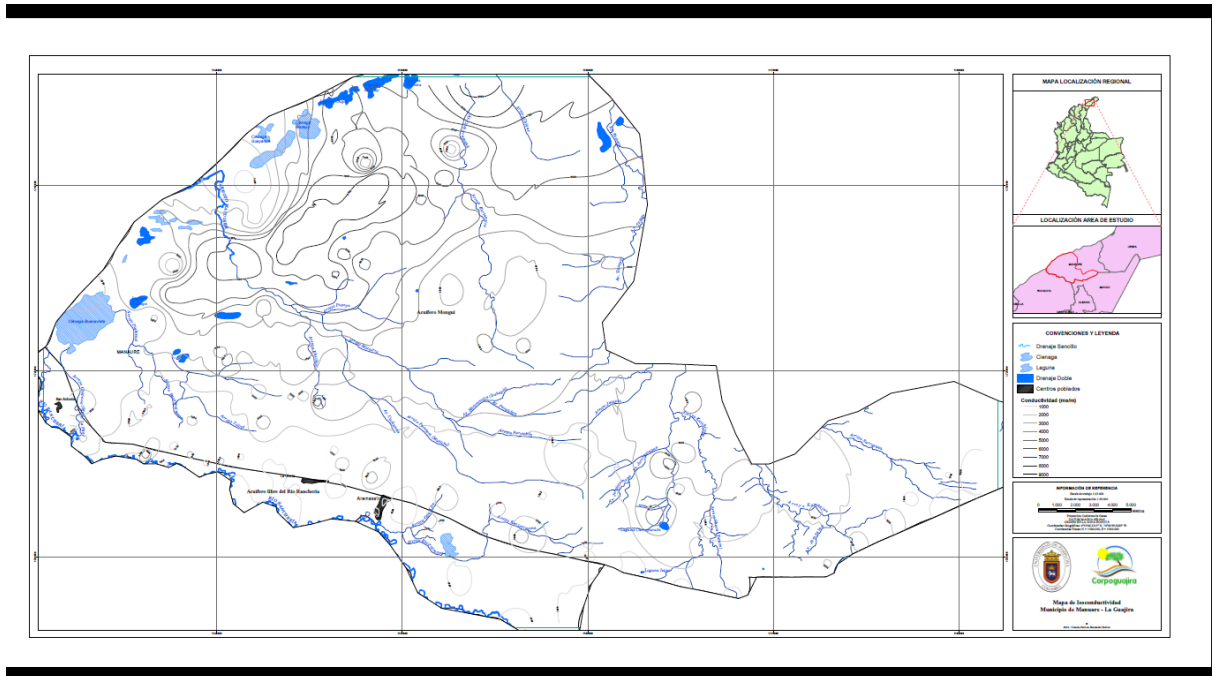
dulce, en la parte norte tiene un aumento la conductividad asociada a presencia de cuñas salinas esto se debe a la intrusión de agua salada al acuífero proveniente del mar desplazando al agua dulce. Mapa elabora en el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW,

**Figura 14.** Mapa de conductividad.



Fuente: elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

**Figura 13.** Mapa de isoconductividad.



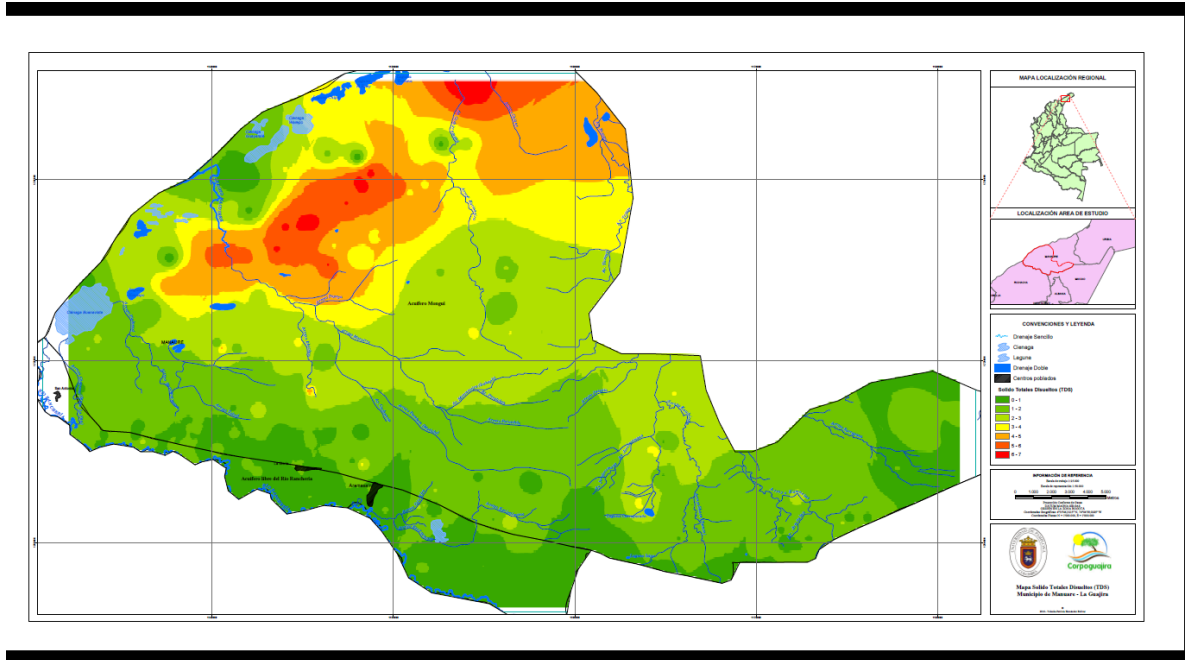
Fuente: elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

### **Sólidos Totales Disueltos**

Los sólidos totales disueltos se encontraron entre los valores de 0 a 6,9475 g/l o 0 a 694,75 mg/L.

Se interpretó con los resultados obtenidos (figura 13 y ANEXO 9) que el agua subterráneo del municipio de Manaure en la parte N tiene altas concentraciones de STD cerca de la zona costera y más alejado de esta la concentración disminuye. Mapa elabora en el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW.

**Figura 15.** Mapa de solidos totales disueltos.



*Fuente:* elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

## Densidad

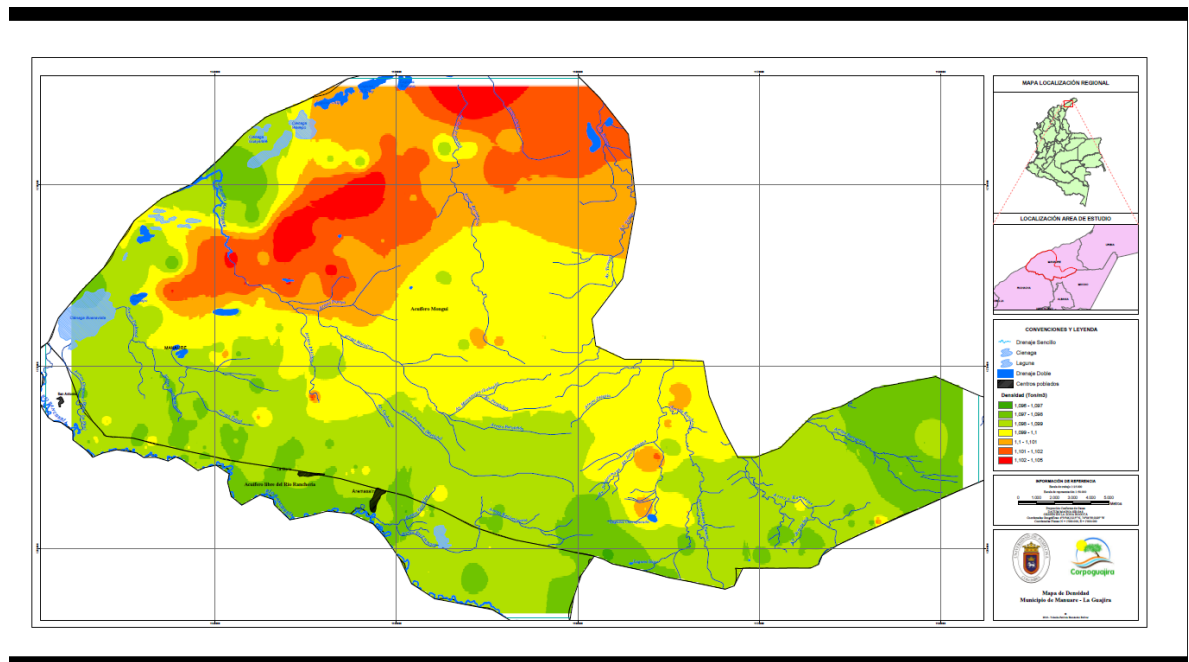
La variabilidad de la densidad (Figura 14 y ANEXO 10), que es función principalmente de: Sales disueltas (STD Solidos Totales Disueltos) y la Temperatura, con respecto a esto al rango de valores de 1,096123192 a 1,104364039 Ton/m<sup>3</sup>). Según los Valores guía, de agua dulce, salobre y salada Integrada con datos tomados de Custodio (1976) y (1987) y de Hem (1985).

	Agua dulce	Agua salobre	Agua salada
DENSIDAD (Ton/ m <sup>3</sup> )	1.00	1.01	1.025

Se interpretó con los resultados obtenidos que el agua subterráneo del municipio de Manaure corresponde agua salada.

La densidad presenta valores altos en la zona norte cerca a la costa, por lo tanto se dice que, existe una intercambio de agua dulce/ agua salada. En la zona SW se encuentra unas concentraciones más bajas, la densidad disminuye ya que tiene mayor influencia de aluvial. Mapa elabora en el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW.

**Figura 16.** Mapa de Densidad.



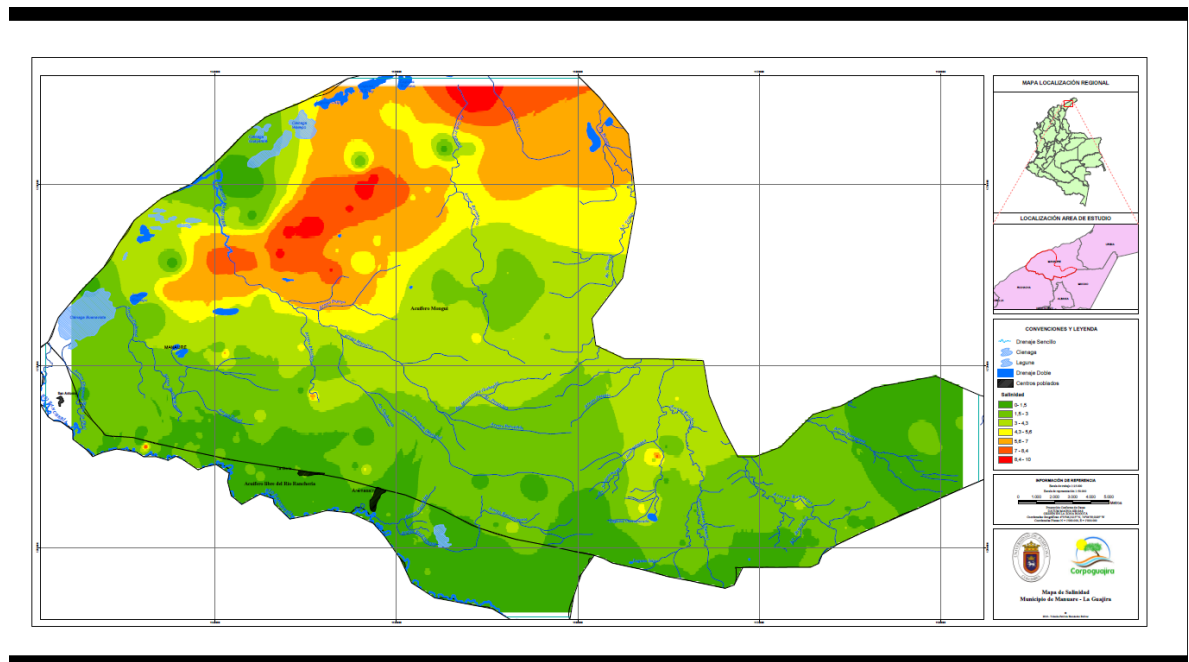
*Fuente:* elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

## Salinidad

La salinidad presenta (Figura 15 y ANEXO 11) valores altos en la zona norte cerca a la costa, por lo tanto se dice que, existe una intercambio de agua dulce/ agua salada. En la zona SW se encuentra unas concentraciones más bajas, la densidad

disminuye ya que tiene mayor influencia de aluvial estrecha relación con la densidad y solidos totales disueltos. Mapa elabora en el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW.

**Figura 17.** Mapa de salinidad.



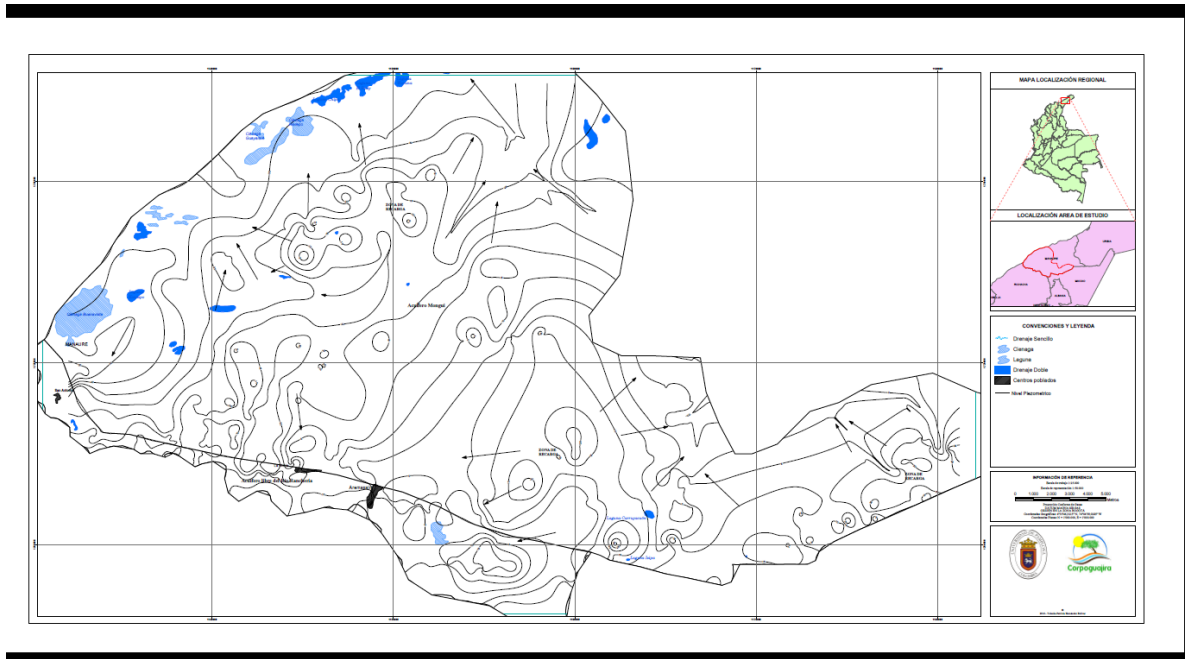
Fuente: elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

### Mapa piezométrico

El mapa piezométrico se realizó mediante interpolación de puntos de niveles piezométricos mostrando 3 zonas de recarga, dos en el SE y una en el NE estas tiene una influencia por aguas de lluvia principalmente, el Rio Ranchería tiene aportes en la parte S de la zona de estudio (Figura 16 y ANEXO 12), la descarga es en el Mar Caribe. Mapa elabora en el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW.



**Figura 18.** Mapa piezométrica.



*Fuente:* elaborado por el autor, ArcGis 10.2.2 método de interpolación IDW.

## **Litología – Acuíferos**

La zona de estudio se encuentra ubicada hidrológicamente sobre dos acuíferos que son (ver tabla 8):

**Acuífero Monguí:** Asociado a la formación sedimentaria Monguí, tiene carácter detrítico y se comporta como libre donde aflora en superficie y está confinado por debajo del acuífero Ranchería. Las fuentes principales de recarga se localizarían a lo largo de la traza de la Falla de Oca y eventualmente recibiría aportes verticales desde las unidades Oca y Ranchería.

**Acuífero Libre Ranchería:** Asociado a los depósitos aluviales recientes del río Ranchería y sus afluentes, al norte de la Falla de Oca, tendría algunos aportes de recarga directa, a la vez que son alimentados por cuerpos de agua superficial.

Este se agrupa como una única unidad hidrogeológica, con carácter de acuífero libre todos los depósitos cuaternarios que se localizan al norte de la Falla de Oca, esto es terrazas, depósitos de abanico y grava, los depósitos aluviales y las arenas eólicas. Es de esperar que las mejores potencialidades se identifiquen en terrazas y depósitos aluviales de rivera o abanicos y que los depósitos eólicos dado su bajo espesor no constituyan depósitos hidrogeológicos significativos.

**Tabla 8.** Potencial hidrológico de las unidades geológicas de la zona de estudio.

Acuíferos	Unidad	Descripción	Textura	Posibilidad Hidrogeológica
Mongui	depósitos de llanura aluvial (Qa)	gravas, arenas y arcillas	diferentes tamaños	permeabilidad primaria y/o secundaria que le dan la posibilidad de contener y transmitir agua
	Depósitos de dunas (Qd)	Arenas	Grano de Tamaño medio	porosidad primaria pero su poco espesor y extensión limita su interés hidrogeológico
	Depósitos cauce aluvial (Qal)	Sedimentos aluviales		Posibilitan la relación río – acuífero.

	Depósitos de playa (Qp)	Gravas, arenas y limos	Grano de muy grueso a grueso	porosidad primaria pero su poco espesor y extensión limita su interés hidrogeológico
	Blanco  FORMCAIO N MONGUI (Tmp)	arcillolitas arenosas	grano medio a grueso	Permeabilidad primaria y/o secundaria que le dan la posibilidad de contener y transmitir agua.
		conglomerados semiconsolidados	cantos subredondeados de 0,5 a 5 cm de diámetro	
		Limolitas	Grano muy fino de diversos minerales.	
Libre del Río Ranchería	Depósitos cauce aluvial del río ranchería (Qalr)	Sedimentos aluviales		Posibilitan la relación río – acuífero.

Fuente: modelo hidrogeológico y sistema de información en la cuenca del Río Ranchería, 2010.

### **Delimitación de unidades hidrogeológicas en la zona de estudio**

En el mapa elaborado con el software ArcGis mediante el método de interpolación IDW se muestra las diferentes unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio.

En la parte NW límite con el mar Caribe y en la parte SE límite con el municipio de Maicao, se encuentran unas unidades con porosidad primaria compuesta de los depósitos de Dunas y de Playón, del cual se interpreta que tienen alta capacidad de almacenamiento de fluidos, por lo tanto, tiene la capacidad de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna, debido a la estrecha relación que presenta porosidad-permeabilidad, pero su poco espesor y extensión limita su interés hidrogeológico, esta unidad facilita la infiltración de agua salada al agua dulce.

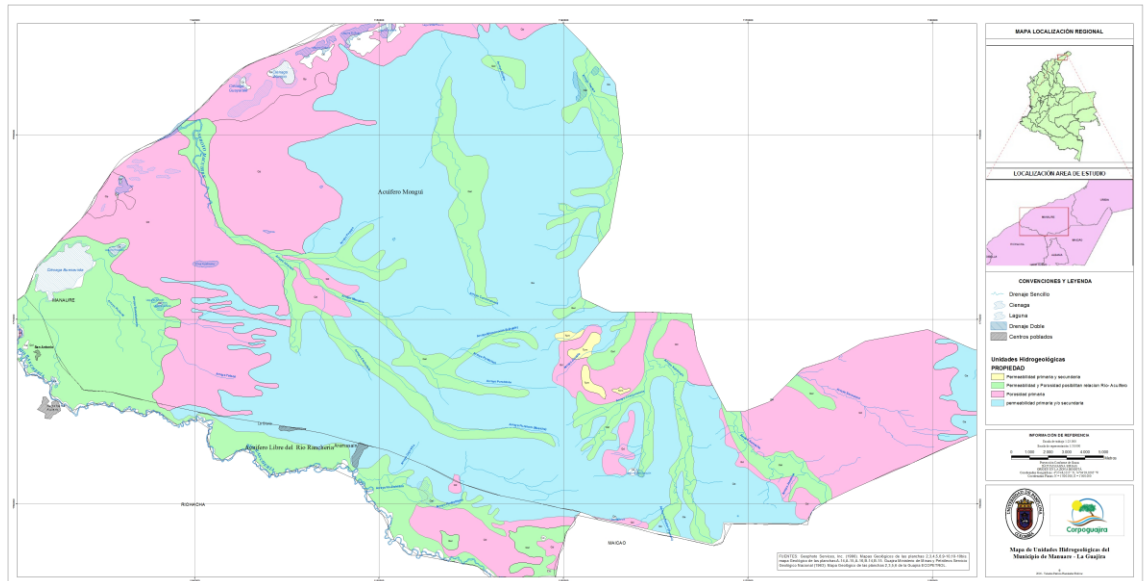
La unidad de permeabilidad y porosidad primaria se encuentra en su mayor representación en la parte SW de la zona de estudio en límite con el río Ranchería y dispersa en los principales arroyos de esta. Esta unidad Posibilita la relación río – acuífero dándole posibilidad de infiltración de agua permanente por parte del río Ranchería e intermitente por parte de los arroyos, compuestas por Depósitos cauce aluvial del río ranchería y Depósitos cauce aluvial.

En la parte central encontramos la unidad de permeabilidad y porosidad que le dan la posibilidad de contener y transmitir agua, dando importancia hidrogeológica, compuestas depósitos de llanura aluvial.

La Formación Monguí presenta permeabilidad secundaria que le da la posibilidad de contener y transmitir agua, su extensión es poco. Ver figura 18, ANEXO 13.

El acuífero Monguí presenta mayor interés hidrogeológico debido a la gran extensión de unidades permeables y porosas.

Figura 19. Mapa de unidades Hidrogeológicas.



Fuente: elaborado por el autor, método de interpolación IDW.

# Capítulo 6

## CONCLUSIONES

## 6. Conclusiones

1. El estudio realizado para el inventario de captación de agua subterránea del municipio de Manaure, se cuantificó un total 428 puntos, conformados por pozos y aljibes.

El mayor uso que se le da a las captaciones de agua subterránea es doméstico – agrícola y pecuario, presentan deficiencias en el control de las aguas utilizadas, causando una posible contaminación de los acuíferos.

2. En la zona de estudio no se cuenta con un buen servicio de acueducto y alcantarillado, es por esto que la población debe abastecerse de una gran cantidad de pozos y alijes los que carecen de información geológica. Desde el punto de vista ambiental, la mayoría de las captaciones no presentan ningún tipo de protección sanitaria ni aislamientos, encontrándose a la intemperie y expuestos a todo tipo de contaminación.
3. Las características físicas químicas cumplen con los rangos establecidos por la NORMA RAS 2000, con los resultados obtenidos se puede manifestar que el agua subterránea generalmente es apta para consumo humano y cumplir sus necesidades básicas.
4. En el mapa de isoconductividad de la zona de estudio se observó que las isolíneas aumentan de NW y se interpretó que la conductividad eléctrica se incrementa debido a la influencia del mar.

5. En el mapa piezométrico de la zona de estudio se observó que las isopiezas disminuyen de este a oeste por lo tanto el flujo de agua subterránea corre en este sentido descargando en el Mar Caribe.
  
6. Se consideran como unidades hidrogeológicas importantes la FORMACION MONGUI (T<sub>mp</sub>), Depósitos de llanura aluvial (Q<sub>a</sub>), Depósitos cauce aluvial (Q<sub>al</sub>), Depósitos cauce aluvial del río ranchería (Q<sub>alr</sub>) ya que tienen la facilidad de contener y transmitir el agua subterránea.
  
7. El acuífero con mayor interés hidrogeológico, es el acuífero Mongí debido a su gran extensión de unidad permeable y porosa dándole la facilidad de contener y transitar el agua, siendo la zona centro de captación ideal.
  
8. El acuífero libre del Río Ranchería posibilita la relación acuífero- río, presentando una cantidad considerable de puntos de captación, debido a la infiltración de agua dulce en esta zona volviéndose atractivo para ubicación de pozos de agua subterránea.



# Capítulo 7

## RECOMENDACIONES

## 7. Recomendaciones

Las recomendaciones que se hacen a continuación surgieron de lo observado durante el desarrollo de esta práctica empresarial y el resultado obtenidos en la misma.

1. Hacer una tomografía para conocer la distribución espacial de los acuíferos presentes en la zona de estudio.
2. Hacer mediciones de transmisividad para determinar la dirección de flujo de los acuíferos.
3. Realizar perfiles de los pozos donde se tomen las mediciones o pruebas necesarias que permitan conocer la permeabilidad y porosidad de la litología presente.
4. realizar en un futuro nuevo modelamiento con mayor y mejor información, y es necesario que la corporación adquiera software especializado para realizar dicho modelamiento, como por ejemplo el modflow u otro similar.
5. El producto obtenido en el mapa de isopiezas debe optimizarse con mayor información y de mejor calidad.
6. Se recomienda que los usuarios de nuevas concesiones utilicen el formulario propuesta para la toma de datos y recopilación de información ordenada, la cual debe reposar en los archivos de Corpoguajira.

7. Se recomienda la utilización del formulario diseñado para llevar una información ordenada y detallada de las futuras concesiones de agua subterránea otorgadas por Corpoguajira.
  
8. La Corporación Ambiental debe requerir la información de pozo, geología, columna estratigráfica y geológica de cada uno de los pozos que sean registrados ante la entidad, con el fin de obtener y mejorar la base de datos y poder mejorar la interpretación de la zona.

# Capítulo 8

## BIBLIOGRAFÍA

## 8. Bibliografía

- ACOSTA, L. A., 1997. Estudio de la traza activa de la falla de Tacagua-El Avila para fines de microzonificación sísmica del corredor estratégico CaracasLitoral Norte Central de Venezuela. Mem. VIII Congreso Geológico Venezolano, Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas, I: 21-27.
- ADELA LONDOÑO CARVAJAL Y OTROS., 2010. Métodos Analíticos Para La Evaluación De La Calidad Fisicoquímica Del Agua, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/49658/7/9789588280394.pdf>
- ALCALDÍA DE MANAURE - LA GUAJIRA, EQUIDAD, EFECTIVIDAD Y CIUDADANÍA; 03 de Octubre de 2013, Disponible en: [http://www.manaure-laguajira.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.manaure-laguajira.gov.co/informacion_general.shtml)
- ALLABY, M. 2008. Oxford Dictionary of Earth Sciences. 3rd ed. Oxford University Press.
- ÁLVAREZ, W. 1967. Geology of the Simarua and Carpintero areas, Guajira Peninsula, Colombia. Tesis Ph.D., Princeton Univ., 168 p. New Jersey.
- ATLAS GEOLOGICO DE COLOMBIA, 2007. Servicio Geológico Colombiano, plancha 5-01 y 5-02.
- BOLETIN GEOLOGICO INGEOMINAS. Departamento de la Guajira
- CARDONA-MOLINA, A.; CORDANI, U.; MACDONALD, W. (2006). Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. Journal of South American Earth Sciences. 21.
- CARDONA, A., WEBER, M., WILSON, R., CORDANI, U., MUÑOZ, C. M. Y PANIAGUA, F., 2007. Evolución tectono-magmática de las rocas maficas-ultramáficas del Cabo de La Vela y el Stock de Parashi, Península de La Guajira: registro de la evolución orogénica Cretácica-Eocena del norte de

Suramérica y el Caribe. XI Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, Agosto 14-17.

- CARLOS ALBERTO SEVERICHE SIERRA Y OTROS, 2013. Métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas, Cartagena de Indias, Colombia.
- CEDIEL, F., SHAW, R. P. y CÁCERES, C., 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean Block. En: BARTOLINI, C. BUFFLER, R. T. y BLICKWEDE, J., eds. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics, AAPG Memoir 79: 815– 848.
- COLLAZO CARABALLO MARÍA PAULA Y OTROS., 2012. Manual de Agua Subterránea., Montevideo, Uruguay.
- CUSTODIO E., LLAMAS, M.R. 1976. Hidrología subterránea. Ed. Omega. Barcelona, España.
- CUSTODIO, E., BRUGGEMAN, G.A. 1987. Groundwater problems in coastal areas. UNESCO. Belgium.
- CUSTODIO, E. 2002. Coastal Aquifers as Important Natural Hydrogeological Structures. Groundwater and Human Development. Barcelona.
- DOOLAN, B., 1970. The structure and metamorphism of the Santa Marta Area. PhD Tesis, State Univ. New York at Binhamton.
- ENOHSA ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO fundamentación capítulo V hidrogeología.
- FEO-CODECIDO, G. 1972. Breves ideas sobre la estructura de la Falla de Oca, Venezuela. Caribb. Geol. Conf., 1:184-190. Margarita.
- FETTER, C.W. 2001. Applied Hydrogeology. 4th ed. Prentice Hall.
- F. SÁNCHEZ, SAN RAMÓN, 2014. Conceptos Fundamentales de Hidrogeología, Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, España, septiembre.

- GETA LÓPEZ JUAN ANTONIO Y OTROS, 2009. las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo, Instituto Geológico y Minero de España.
- GIL MONTES JUAN., Recursos Hidrogeológicos. Disponible en: <http://gea.ciens.ucv.ve>
- GÓMEZ, I., 2001. Structural Style and Evolution of the Cuisa Fault System, Guajira, Colombia, University of Houston, Houston, TX, 147p.
- HAZEN A., Am. Chem. J. (1892). Determinación del Color.
- HEM, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 3rd ed.
- HOBART H. WILLARD, JOHN A. DEAN, LYNNE L. MERRITT, 1982. Métodos instrumentales de análisis, México, CIESA.
- INFORMACIÓN GENERAL DE MANAURE, 2016. Alcaldía del municipio. Consultado, Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Manaure\\_\(La\\_Guajira\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Manaure_(La_Guajira)).
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS., 2009. Cartografía geológica de las planchas 7-8, Bogotá, diciembre.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS., 2009. Cartografía geológica de las planchas 9, Bogotá, enero.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS., 2009. Cartografía geológica de las planchas 14, Bogotá, diciembre.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS., 2009. Cartografía geológica de las planchas 15, Bogotá, diciembre.
- IRVING, E. M. 1972. Mapa geológico de la Península de La Guajira, Colombia (Compilación). Escala 1:100.000. Ingeominas.
- JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS, 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos), INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS, Julio, Disponible en:

<http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

- LOCKWOOD, J. P. 1965. Geology of the Serranía de Jarara Area. Guajira Peninsula, Colombia. Tesis PhD, Princeton Univ. 237 p. New Jersey.
- LÓPEZ, E., 2005a. Evolución Tectónica de la Region Caribe de Colombia. INGEOMINAS, Bogotá - Colombia.
- MARÍA STELLA GAITÁN, 2004. Determinación de Oxígeno Disuelto Método Yodométrico Modificación de Azida, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 22 de Junio, Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- MacDONALD, W. D. 1964. Geology of the Serranía de Macuira Area, Guajira Peninsula, Colombia. Tesis PhD., Princeton Univ., 167 p. New Jersey.
- MENDOZA, J., 1998. “Introducción a la Física de Rocas”, Equinoccio, Sartenejas, Venezuela.
- MERCADO, M., 2003. Mapa Geológico del Departamento de La Guajira, Escala 1:250000. Memoria Explicativa, INGEOMINAS.
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2007. Decreto 1575 de 2007, 22 JUN, disponible en: <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>
- MOSQUERA, F., ARANGO, J., CARREÑO, J. y AGUILERA, H., 1976. Exploración de acuíferos de la Alta y Media Guajira. Capítulo I, Geología. Ingeominas, Informe 1668: 140
- MUSY, A. 2001. Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement.



- ORDOÑEZ GÁLVEZ JUAN JULIO., 2011. Cartilla técnica aguas subterráneas – acuíferos., Lima, Perú.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2004. Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales, Lima, Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/i120-04perforacion.pdf>
- Philip, G. M. y D. F. Watson, 1982. "A Precise Method for Determining Contoured Surfaces". Australian Petroleum Exploration Association Journal 22: 205–212.
- PULIDO, O., CASTRO, E., LÓPEZ, G. Y CRISTANCHO, J., 1991. Compilación y análisis de la información de la Subcuenca de la Baja Guajira. ECOPETROL, informe interno 2303.
- RAMÍREZ, V., 2006. Geological Setting and Hydrocarbon Guajira Basin, Offshore Northern. Poster presentation at AAPG Annual Convention, Houston, Texas, April 9-12.
- RENZ, O. 1956. Cretaceous in Western Venezuela and the Guajira (Colombia). 20 Congr. Geol. Internat., 11 figs, manuscrito. México
- RODRÍGUEZ, P. y GUERRERO, N., 2009. Analisis estructural de la Serranía de Cosinas, Alta Guajira, Colombia. Resumen ponencia XII Congreso Colombiano de Geología, Paipa 2009.
- RODRÍGUEZ, G. Y LONDOÑO. A., 2002. Memorias del mapa geológico del Departamento de La Guajira, Geología, recursos minerales y amenazas potenciales. INGEOMINAS.
- ROJAS, H. y otros. 2004. modelación de acuíferos para el aprovechamiento sostenible del agua subterránea – caso de estudio: valle del cauca (Colombia)

- ROLLINS, J. F., 1965. Stratigraphy and structure of the Guajira Península, northwestern Venezuela and northeastern Colombia. Univ. Nebraska Studies, New Ser., 30:1- 1102. Lincoln.
- RUBIO, R., RAMÍREZ, V., RUBIANO, J., GARNICA, M., MORENO, N., PLATA, J., MANTILLA, M., GATSBY., E., LÓPEZ, O., MARTINEZ, I., ZEGARRA, M., DÍAZ, O. Y MEZA, J., 1998. Evaluación regional, Cuenca de la Baja Guajira. Informe final. Vicepresidencia adjunta de exploración gerencia de estudios regionales. Informe interno, Ecopetrol.
- SÁNCHEZ JAVIER, CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE HIDROGEOLOGIA, Disponible en: <http://web.usal.es/javisan/hidro>.
- SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C, DECRETO 1594 DE 1984, Junio 26 de 1984, Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>
- SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C, DECRETO 475 DE 1998, marzo 10 de 1998, Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>
- SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C, Ley 99 de 1993 Nivel Nacional, Diario Oficial 41146 de Diciembre 22 de 1993, disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- SILVA MEDINA, Gustavo, 1996. Hidrología básica. Curso internacional de manejo y protección de acuíferos. Bogotá.
- TSCHANZ, C. M.; MARVIN, R. F.; CRUZ, J. (1974). Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. Geological Society of America Bulletin, 85, pp. 273-284.
- VENCE, E., 2008. Subsurface structure, stratigraphy, and regional tectonic controls of the Guajira margin of northern Colombia. Thesis Master of Science in Geological Sciences, University of Texas at Austin.

- VILLAMIL, T. (1999). Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and Western Venezuela. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*.

# ANEXOS

## **ANEXO 1**

Atlas Geológico de Colombia, plancha 5-01

### **ANEXO 1 (1)**

Leyenda Geológica

## **ANEXO 2**

Atlas Geológico de Colombia, plancha 5-02

### **ANEXO 2 (2)**

Leyenda Geológica

## **ANEXO 3**

Marco estructural Regional del Departamento de la Guajira

## **ANEXO 4**

Mapa geológico de la zona de estudio

## **ANEXO 5**

Mapa de localización de puntos

## **ANEXO 6**

Mapa Potencial de Hidrogeno pH

.

## **ANEXO 7**

Mapa de conductividad

## **ANEXO 8**

Mapa de Isoconductividad

## **ANEXO 9**

Mapa de Solidos Totales Disueltos

## **ANEXO 10**

Mapa de Salinidad

## **ANEXO 11**

Mapa de Densidad

## **ANEXO 12**

Mapa Piezométrico

## **ANEXO 13**

Mapa de Unidades Hidrogeológicas

## **ANEXO 14**

Tabla de información de puntos de captación de agua subterránea