

**ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS,
MUNICIPIO DE LOS SANTOS JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER “CAS” SEGUNDA FASE.
PRACTICA EMPRESARIAL**

NURY PAOLA URIBE VARGAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2016**

**ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS,
MUNICIPIO DE LOS SANTOS JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER “CAS” SEGUNDA FASE.**

NURY PAOLA URIBE VARGAS

**Proyecto de Grado modalidad práctica empresarial como requisito
Para optar al título de Geóloga**

DIRECTOR

**ING. WALTER LEONARD ANTOLÍNEZ QUIJANO
INGENIERO CIVIL. M SC**

Co-director

**CARLOS MANUEL WANDURRAGA BARÓN
GEÓLOGO.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A mi Hija Victoria Melo Uribe

La mejor sorpresa de mi vida, mi motor, mi fuente de vida y alegría. Por su Amor y ternura.

A mi padre Héctor Uribe.

Por siempre dar todo por mí, por su ejemplo de perseverancia y constancia para salir adelante siempre, por su ejemplo y su amor.

A mi madre Omaira Vargas.

Por apoyarme en todo momento, por la motivación constante y ser mi confidente, amiga incondicional, pero ante todo, por su amor.

A Luis Francisco Melo.

*Por ser mi compañero de vida y Apoyo incondicional por los momentos felices y
Por su Amor.*

A mis hermanos Duvan y Julia.

Por ser mis acompañantes de infancia, y apoyo siempre.

A mis Amigas

Laura Ballesteros, Cristina Macilla y Alejandra Flórez

Por los buenos Momentos, por sus consejos en las buenas y malas por su amistad.

...A Todos aquellos familiares, Tíos, Primos, amigos y maestros que me apoyaron directa o indirectamente para escribir y concluir esta tesis...

Nury

AGRADECIMIENTO

Agradezco primariamente a Dios quien me dio la vida, salud y capacidad para realizar y culminar con éxito esta meta tan importante de mi vida.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de geología que de la mano de los profesores que me acompañaron y guiaron en mi formación académica y personal con sabiduría, entrega de sus conocimientos y las herramientas necesarias para poder enfrentar todas aquellas situaciones que surjan a lo largo de mi vida como profesional.

A la empresa INGEOEXPLORACIONES S.A.S por darme la oportunidad de vivir la experiencia en calidad de practicante guiándome, fortaleciendo y acrecentando mis conocimientos apoyada de su experiencia y gran talento humano.

A mi director de proyecto, Msc en Ing. Civil, profesor Ing. Walter Leonard Antolínez Quijano y a mí Tutor Geólogo Carlos Manuel Wandurraga Barón, por su tiempo, disposición y recomendaciones ofrecidas en todas las fases del trabajo de grado para que este saliera adelante.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	22
1. JUSTIFICACION	24
2. OBJETIVOS	26
2.1. OBJETIVO GENERAL	26
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	26
3. LOCALIZACIÓN.....	28
4. MARCO METODOLOGICO.....	30
4.1. FASE DE APRESTAMIENTO	30
4.2. FASE DE DIAGNÓSTICO.....	31
4.3. FASE DE FORMULACIÓN:	31
4.4. FASE DE EJECUCIÓN	32
4.5. FASE DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN	33
5. FASE DE APRESTAMIENTO	34
5.1. CONFORMACIÓN DEL EQUIPO TÉCNICO	34
5.2. ELABORACIÓN DEL PLAN DE TRABAJO	35
5.3. CRONOGRAMA PARA LA EJECUCIÓN DEL PLAN OPERATIVO.....	35
5.4. BÚSQUEDA Y REVISIÓN DE ESTUDIOS DISPONIBLES	36
5.5. ESTRATEGIAS DE CONVOCATORIA, COMUNICACIÓN, DIVULGACIÓN Y PARTICIPACIÓN	39
6. FASE DIAGNOSTICO	41

6.1. MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL (MHC)	42
6.2. EVALUACIÓN GEOLÓGICA	42
6.2.1. Geomorfología.	43
6.2.2. Estratigrafía.....	48
6.2.3. Geología Estructural.	52
6.2.4. Bloques estructurales de la Mesa de Los Santos	59
6.3. ASPECTOS SISMOLÓGICOS.....	61
6.4. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA.....	64
6.4.1. Análisis Climático.....	65
6.4.2. Descripción Orográfica.....	66
6.4.3 Definición de clima.....	67
6.4.4 Distribución espacial y temporal de la precipitación.....	68
6.4.5 Temperatura media mensual.	73
6.4.6 Otros parámetros climáticos	75
6.5. DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL MEDIA PARA LA MESA. QUEBRADA LA CAÑADA	82
6.6. CONDICIONES HIDRÁULICAS DE POZOS	85
6.6.1. Relación entre aguas superficiales y aguas subterráneas.....	85
6.6.2. Distribución de las aguas subterráneas en la vertical.	85
6.7 MODELO CONCEPTUAL.....	87
6.8. EVALUACIÓN GEOFÍSICA	91
6.8.1. Investigación mediante la técnica de Tomografías Eléctricas 2D	95
6.8.2. Interpretación de Resultados Geofísicos	102
6.9. HIDROLOGÍA ÁREA DE ESTUDIO	114
6.9.1 Cuerpos Loticos	114
6.9.2. Cuerpos Lenticos.	115
6.10. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MESA DE LOS SANTOS.....	115
6.11. VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN.	121

6.11.1. El Papel de los Acuíferos en la Regulación de los Recursos Hidráulicos.....	122
6.11.2. Contaminación de las aguas subterráneas.....	122
6.11.3 Vulnerabilidad y Riesgo.....	123
6.11.4. Actividades Contaminantes.....	123
6.11.5. Vulnerabilidad Contaminación de Aguas Subterráneas.....	125
6.12. RIESGOS DE CONTAMINACIÓN Y DE AGOTAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	130
6.12.1. Desarrollo urbano.....	131
6.12.2. Actividad Pecuaria.....	133
6.12.3. Mecanismos hidráulicos para el abastecimiento.....	133
6.12.4. Amenazas Naturales.....	134
6.13. CONFLICTOS POR USOS DEL SUELO EN ZONAS DE INTERÉS HIDROGEOLOGÍCO	137
7. FASE FORMULACIÓN	141
7.1. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS PROSPECTIVOS.....	141
7.2. LÍNEAS ESTRATÉGICAS.....	142
8. CONCLUSIONES	146
BIBLIOGRAFÍA	150
ANEXO	153

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Conformación Equipo Técnico.....	35
Tabla 2. Cronograma de Actividades.....	36
Tabla 3. Estudios existentes relevantes para los objetivos en la zona de estudio .	37
Tabla 4. Relación de Amenaza y Aceleración departamental.....	64
Tabla 5. Estaciones del IDEAM en el área de estudio.	67
Tabla 6. Valores medios mensuales de elementos meteorológicos registrados en la estación del Aeropuerto Palonegro.....	77
Tabla 7. Valores medios mensuales de elementos meteorológicos registrados en la estación Zapatoca.....	77
Tabla 8. Valores meteorológicos medios ajustados para el cálculo de la evapotranspiración potencial en la Mesa.....	80
Tabla 9. Identificación de Factor de Humedad.	81
Tabla 10. Balance hídrico del suelo para condiciones medias y ETP 992 mm.	81
Tabla 11. Balance hídrico del suelo para condiciones medias y ETP 1097.6 mm.	82
Tabla 12. Definición práctica de las clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.	128
Tabla 13. Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos.....	129
Tabla 14. Contaminadores comunes de agua subterránea y fuentes asociadas de contaminación (Protección de la Calidad del Agua Subterránea-2006).....	140
Tabla 15. Líneas Estratégicas a ejecutar. Fuente: presente trabajo.	143

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización general de la Mesa de los Santos en el Departamento de Santander en el municipio de Los Santos. La Mesa de los Santos está delimitada por los Ríos Chicamocha al SE, Sogamoso al W, Manco al NE y quebrada los Montes al N.....	29
Figura 2. Mapa conceptual Fase de Aprestamiento Tomado y modificado de la guía metodológica para formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.	34
Figura 3. Volantes utilizados como estrategia de convocatoria a las reuniones de socialización.....	39
Figura 4. Reuniones de socialización con los diferentes actores para el desarrollo del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos	40
Figura 5. Mapa conceptual de la Fase de Diagnostico Tomada y modificada de la guía metodológica para formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.	41
Figura 6. Mapa conceptual del Modelo hidrogeológico conceptual.....	42
Figura 7. Panorámica mostrando las diferentes unidades geomorfológicas al SW del municipio de Los Santos. Se observa la discordancia Jurásico-Cretácico entre Jordán y Los Santos.	46
Figura 8. Mapa Geomorfodinámico.....	47
Figura 9. Mapa Geológico local y de Localización de las Tomografías Eléctricas 2D T6, T7, y T8 en el sector de la Mesa, municipio de Los Santos, departamento de Santander.	49
Figura 10. Columna estratigráfica generalizada Mesa de los Santos.	52
Figura 11. Mapa estructural de la Mesa de Los Santos.....	55

Figura 12. Bloques estructurales de la Mesa de Los Santos establecidos por Vargas, C. 2008.	60
Figura 13. Bloques estructurales de la Mesa de Los Santos establecidos por Vargas, C. 2008. Fuente: Pinto, J. et al. 2007	60
Figura 14. Mapa de Colombia con la localización de las estaciones RSNC	61
Figura 15. Mapa de Amenaza Sísmica y Valores de Aa de Colombia.....	62
Figura 16. Orografía del municipio de Los Santos.....	66
Figura 17. Precipitación media en las Estaciones de Piedecuesta y Los Santos. .	70
Figura 18. Isoyetas medias anuales municipio de Los Santos, en milímetros. Fuente: presente trabajo.....	72
Figura 19. Localización de estaciones meteorológicas del área de influencia de Los Santos.....	73
Figura 20. Temperatura media, municipio de Los Santos.....	74
Figura 21. Emplazamiento de instrumentos en una estación meteorológica.	75
Figura 22. Rosa de los vientos estación UIS	78
Figura 23. Rosa de los vientos del Aeropuerto Palonegro	79
Figura 24. Ciclo hidrogeológico generalizado	87
Figura 25. Diagrama del posible comportamiento del agua subterránea en el Sector la Mesa, municipio de los Santos. Fuente: Presente estudio.	89
Figura 26. Proceso de infiltración y movimiento agua superficial	90
Figura 27. Equipo de resistividad SuperSting R8 IP empleado para la ejecución de las Tomografías Eléctricas 2D en el sector la Mesa del municipio de Los Santos, departamento de Santander.	92
Figura 28. Imagen satelital de Google Earth con la ubicación de la Tomografía Eléctrica 2D T6 en la vereda Rosablanca, sector la Mesa, municipio de Los Santos, departamento de Santander.	93
Figura 29. Imagen satelital de Google Earth con la ubicación de la Tomografía Eléctrica 2D T7 en la vereda Tabacal, sector la Mesa, municipio de Los Santos, departamento de Santander	94

Figura 30. Imagen satelital de Google Earth con la ubicación de la Tomografía Eléctrica 2D T8 en la hacienda El Roble, vereda El Carrizal, sector la Mesa del municipio de Los Santos, departamento de Santander.	95
Figura 31. Dispositivo electródico para prospecciones por Tomografías Eléctricas 2-D y secuencia de medidas.	97
Figura 32. Imagen 2D de inversión y modelización de la Tomografía Geoeléctrica T6.....	99
Figura 33. Imagen 2D de inversión y modelización de la Tomografía Geoeléctrica T7.....	100
Figura 34. Imagen 2D de inversión y modelización de la Tomografía Geoeléctrica T8.....	101
Figura 35. Imagen 2D de Tomografía Eléctrica T6.	103
Figura 36. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T6. .	104
Figura 37. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T6. .	104
Figura 38. Extendida del multicable para la Tomografía Eléctrica 2D T6.	105
Figura 39. Instalación del multicable al electrodo para la Tomografía Eléctrica 2D T6.	105
Figura 40. Imagen 2D de Tomografía Eléctrica T7.	107
Figura 41. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T7. .	108
Figura 42. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T7. .	108
Figura 43Extendida del multicable para la Tomografía Eléctrica 2D T7.	109
Figura 44Instalación del multicable al electrodo para la Tomografía Eléctrica 2D T7.....	109
Figura 45. Imagen 2D de Tomografía Eléctrica T8.	111
Figura 46. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T8. .	112
Figura 47. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T8. .	112
Figura 48. Extendida del multicable para la Tomografía Eléctrica 2D T8.	113
Figura 49. Instalación del multicable al electrodo para la Tomografía Eléctrica 2D T8.....	113

Figura 50. Diligenciando la entrevista psicosocial y llenando el Formulario único Nacional De Inventario de Aguas Subterráneas. (FUNIAS) del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas.....	116
Figura 51. Mapa localización puntos de agua que hacen parte del inventario del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas sector La Mesa Municipio de los Santos.....	118
Figura 52. Mapa localización puntos de agua que hacen parte del inventario del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas sector La Mesa Municipio de los Santos. Fuente: presente estudio.	118
Figura 53. Numero de tipos de puntos de agua en cada una de las veredas identificados en el inventario del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos.	119
Figura 54. Porcentajes puntos de agua identificados en el inventario del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos.....	120
Figura 55 Porcentajes Usos de agua identificados en el inventario del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos.....	120
Figura 56. Método GOD para determinación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos	127
Figura 57. Usos del suelo que normalmente generan amenazas de contaminación del agua subterránea.	139
Figura 58. Mapa conceptual de la Fase de Formulación.	141

LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PLAN DE TRABAJO	153
ANEXO B. MAPA GEOMORFODINAMICO	161
ANEXO C. MAPA HIDROGEOLOGICO CON TOMOGRAFÍAS 2D Y RESULTADOS DEL FORMULARIO ÚNICO NACIONAL DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA (FUNIAS).....	162

GLOSARIO

Como propósito de facilitar la interpretación del presente estudio y con el fin de unificar términos técnicos, a continuación se definen algunos de ellos términos, poco comunes o de uso normal, pero totalmente relacionados con el tema hidrológico, los cuales interpretan o definen los diferentes tipos de “apariciones de agua en superficie”, con su respectiva definición y/o explicación.

- **Acuícludo.** *Es una formación geológica poco permeable, que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite, por lo tanto no es posible su explotación. Generalmente los acuícludos son depósitos subterráneos de arcilla.*
- **Acuífero.** *Cualquier formación geológica subterránea, capaz de contener y transmitir agua en grandes cantidades.*
- **Acuífugo.** *Es una formación geológica subterránea que se caracteriza por ser impermeable, por tanto, es incapaz de absorber o transmitir agua.*
- **Acuitardo.** *Es una formación geológica semipermeable, que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, sin embargo bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos.*
- **Agua Subterránea.** *Agua dentro de la tierra que abastece manantiales, pozos y curso de agua. Específicamente, agua en la zona de saturación donde las cavidades en el suelo y en las rocas se encuentran llenas.*
- **Aguas Hipodérmicas.** *Corresponde a aguas que se presentan en altas permeabilidades que brindan la circulación sub-superficial de carácter horizontal, también denominada circulación hipodérmica (agua superficial circulando a profundidades muy someras, con tiempos reducidos de residencia*

y más asociadas a aguas superficiales que subterráneas). Esta configuración hidrológica, añadida a una situación de niveles freáticos altos, explica la aparición de surgencias (subrayado y resaltado fuera de texto) de agua en depresiones del lecho de ríos a distancias variables del frente fluvial, que posteriormente son incorporados al propio río, siempre que se haya seguido produciendo un balance hídrico positivo (caudal fluvial mayor que infiltración al acuífero) Tomado de Informe Técnico: Análisis de la aparición de cuerpos reducidos de agua en el cauce del río Guadiana, en la zona del Molino de Griñón y denominados “Nuevos Ojos”. Expediente Investigación: El-11/2010. Comisaría de Aguas. Servicio de Aguas Subterráneas. Confederación Hidrográfica Guadiana.

- **Cisterna.** Es un depósito generalmente grande y subterráneo para almacenar agua, está generalmente revestido ladrillo o construido con tubos de cemento tipo alcantarilla y presenta fisuras para el ingreso de aguas de nivel freático.
- **Aljibe.** Es un depósito destinado a guardar agua potable, procedente de la lluvia recogida de los tejados de las casas o de las acogidas, habitualmente, que se conduce mediante canalizaciones. Normalmente es subterráneo, total o parcialmente. No se debe confundir con tinaja: depósito destinado a transportar líquidos.
- Suele estar construido con ladrillos unidos con argamasa o con tubos de gres utilizados para alcantarillas, colocados de manera vertical unos obre otro, hasta alcanzar la profundidad deseada. Las paredes internas suelen estar recubiertas de una mezcla de cal, arena, óxido de hierro, arcilla roja y resina de lentisco, para impedir filtraciones y la putrefacción del agua que contiene.
- **Canal.** Construcción que puede ser natural o artificial destinada al transporte de todo tipo de fluidos.
- **Cuerpos Loticos.** Se entiende como cuerpos loticos, aquellos cuerpos de agua que tienen una entrada y una salida, por lo cual sus aguas siempre tienen movimiento, tales como ríos, quebradas, que adicionalmente tienen nacimiento y desembocadura.

- **Cuerpos Lenticos.** Se consideran como cuerpos lenticos a los diferentes tipos de almacenamiento ya sea natural o artificial, en el cual las aguas son estacionarias. Los más conocidos son los nacederos, aljibes, jagüeyes, represas.
- **Escorrentía.** La escorrentía es un término geológico de la hidrología, que hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en mm del agua de lluvia escurrida y extendida.
- **Manantial.** Zona donde las aguas afloran a la superficie. Nacimiento de las aguas. Fuente natural donde el agua brota en cantidades suficientes para formar una corriente de agua.
- **Nacimiento de Agua.** Es una fuente de agua. Se forman cuando el agua que se acumula sobre rocas impermeables erosiona los materiales más débiles y llega al exterior, generalmente a una altura inferior a la del acuífero inicial.
- **Nivel Freático.** Nivel al que llega la zona de saturación.
- **Pozo profundo de agua.** Perforación vertical que se realiza en el subsuelo con el fin de explotar agua subterránea por medio de unos parámetros técnicos previamente establecidos para su construcción.
- **Resurgencia y Exsurgencia.** Son los lugares en donde un flujo hidrológico subterráneo aflora del subsuelo. En el origen de una resurgencia, en teoría hay un curso de agua superficial en el que una parte o la totalidad del flujo por escorrentía se infiltran al subsuelo para resurgir más adelante al aire libre. A su vez, una exsurgencia es la salida de los flujos subterráneos cuyo origen es una infiltración difusa de las aguas de la lluvia en el subsuelo, siendo esta la primera salida al aire libre de tales flujos subterráneos.
- **Resurgencia.** f. Geol. Reaparición de un curso de agua subterráneo. Tomado de resurgencia
- **Sumidero.** Se le denomina a la entrada de agua en el subsuelo, sin que vuelva a aparecer.
- **Zonas húmedas:** Son terrenos bajos y pantanosos que se inundan bien por

las aguas de los ríos o del mar (marismas) o bien por el ascenso de la capa freática o la poca permeabilidad del terreno (marjales, turberas, etc.)

RESUMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS, MUNICIPIO DE LOS SANTOS JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER "CAS" SEGUNDA FASE. PRACTICA EMPRESARIAL.

AUTOR: NURY PAOLA URIBE VARGAS**

PALABRAS CLAVES: Formación Los Santos, Mesa De Los Santos, Agua subterránea, Tomografías 2D, inventario puntos de agua, vulnerabilidad.

DESCRIPCIÓN: La Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, hasta el momento no cuenta con un plan de manejo ambiental de aguas subterráneas, que le permitan obtener información sobre el potencial de acuíferos, su vulnerabilidad a la contaminación, y la evaluación de los riesgos de contaminación a cargas contaminantes. Fue necesario iniciar la elaboración y formulación del estudio para el conocimiento del Recurso Hídrico Subterráneo y planeación estratégica sostenible teniendo en cuenta la jurisdicción de la CAS donde existen problemas de abastecimiento de agua superficial.

En el presente trabajo de grado modalidad Practica empresarial se analizaron los recursos hídricos subterráneos y geológicos donde se utilizó como principal herramienta el método Geoeléctrico de Tomografía Eléctrica 2D, que permitió estudiar la constitución y posición de los sedimentos, rocas y presencia del agua subterránea, unido a esto se integraron resultados de todo el proceso como en análisis de oferta y demanda, inventario de puntos de agua subterránea y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de esta misma y muchos más datos de estudios Geoeléctricos recopilados que permitieron las formulación de la líneas estratégicas para este problema de desabastecimiento Hídrico.

Las Tomografías de Resistividad Eléctrica 2D presentaron valores bajos de resistividad en la Formación Los Santos, lo que se asocia a áreas saturadas con agua, la interpretación y análisis hidrogeológicos del modelo conceptual se considera que parte de las aguas que corresponden a subterráneas pueden provenir desde el este, especialmente desde la zona del denominado Macizo de Santander, a partir del inventario se arrojó un resultado de 162 puntos y los principales usos de la zona son avícola, baja ganadería, y agrícola en general todo el sector se puede considerar con Vulnerabilidad Baja.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físicoquímicas, Escuela de Geología. Director Walter Leonard Antolinez Quijano

ABSTRACT

TITLE: ELABORATION AND FORMULATION OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN OF GROUNDWATER IN THE SECTOR MESA DE LOS SANTOS, MUNICIPALITY LOS SANTOS JURISDICTION CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER "CAS" SECOND STAGE. BUSINESS PRACTICE.*

AUTHOR: NURY PAOLA URIBE VARGAS**

KEYWORDS: The Santos Formation, Mesa de Los Santos, underground water, hydrogeological model, Electrical Resistivity Tomography 2D, Inventory water points, vulnerability.

DESCRIPTION: The Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, so far it does not have a plan of environmental management of groundwater, enabling it to obtain information on the potential of aquifers, their vulnerability to pollution, and the evaluation of the risk of contamination to pollutant loadings. It was necessary to initiate the development and formulation of the study for the knowledge of the underground water resource and sustainable strategic planning taking into account the jurisdiction of the CAS where there are problems of surface water supply.

In the present work practice business is analyzed the resources water underground and geological where is used as main tool the method Geoelectrical of tomography electric 2D that allowed study the Constitution and position of the sediments, rocks and presence of the water underground, attached to this whole results were integrated as in analysis of supply and demand, inventory of points of water underground and vulnerability intrinsic to the contamination of this same and many more data of studies Geoelectric allowed the formulation of the lines strategic for this problem of shortage water.

The 2D electrical resistivity tomography presented low resistivity values at the Santos Formation, which is associated with areas saturated with water, the interpretation and hydrogeological analysis of the conceptual model are considered that part of the waters that correspond to groundwater may come from the East, especially from the area of so-called Santander massif, from inventory jumped a result of 162 points and the main uses of the area are poultry lower livestock and agricultural in general throughout the sector can be seen with low vulnerability.

* Degree project

** Faculty of physico-chemical engineering, school of geology. Director Walter Leonard Antolinez Quijano

INTRODUCCIÓN

La progresiva crisis por el déficit en el suministro de agua potable a escala mundial, ha conllevado a un mayor aprovechamiento de fuentes alternas como las aguas subterráneas. Sin embargo, éste aprovechamiento es realizado generalmente en sitios donde el conocimiento de los acuíferos es limitado, generando, en muchas ocasiones, daños considerables como sequía de fuentes superficiales y de pozos someros, fenómenos de subsidencia del terreno, acentuación o inducción de procesos de contaminación natural o antrópica, entre otros. Esta situación demuestra la urgente necesidad de una administración apropiada de este estratégico recurso, de tal modo que se garantice a las futuras descendencias su estabilidad, su calidad y un uso con mínima afectación al medio ambiente.

El presente documento recoge los resultados pertinentes recopilados durante la práctica empresarial y los alcances obtenidos mediante las tareas propuestas según la intervención de INGEOEXPLORACIONES SAS el proyecto, el cual se ha dividido en tres Fases para facilitar su desarrollo: La primera es la síntesis del conocimiento técnico del recurso hídrico subterráneo; la segunda el diagnóstico de los instrumentos de gestión existentes y la tercera la formulación del Plan de Manejo realizado con base en el diagnóstico anterior incluyendo, los costos y el cronograma de actividades necesarias para la implementación de dicho plan.

En los estudios de recursos hídricos subterráneos, geológicos y geotécnicos se utiliza como principal herramienta el método Geoeléctrico, que permite estudiar la constitución y posición de los sedimentos, rocas y presencia del agua subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad. El método Geoeléctrico es el más eficaz hasta el momento y de mayor difusión en la

prospección de agua subterránea; consiste en enviar corriente eléctrica a través del subsuelo para luego medir la diferencia de potencial entre puntos variables, observar los cambios drásticos en resistividad y establecer las características litológicas con presencia o ausencia de agua.

Mediante Concurso de Méritos CM- 016-2015, la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS adjudica el Contrato de consultoría 004-00469-2015, cuyo objeto es **“ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SECTOR LA MESA EN EL MUNICIPIO DE LOS SANTOS. SEGUNDA FASE”**, en el cual la autora hará parte del equipo técnico de trabajo como practicante y como apoyo en geología desarrollando las siguientes actividades;

- Estudio de campo para la escogencia de la mejor ubicación de las tres tomografías basados en la ubicación de las primeras tomografías de la Fase I y la Geología, Estratigrafía del área.
- Las visitas e inventario de puntos de agua subterránea y digitalización.
- Ejecución e Interpretación de las tres Tomografías 2D, con el acompañamiento y asesoría del especialista en Geofísica de IngeoExploraciones SAS.
- Elaboración del Modelo Hidrogeológico a partir de resultados y análisis de los aspectos Sismológicos, Hidrológicos climáticos, Geológicos y geofísicos del área de estudio.
- Asistiendo en el Análisis e interpretación de la Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación.
- Formulación de Líneas estratégicas para la administración y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo.

1. JUSTIFICACION

La indiscriminada captación de agua subterránea a partir de pozos profundos, cisternas y por el empleo de las corrientes superficiales teniendo en cuenta los antecedentes climáticos de los últimos tiempos con periodos largos de sequía, ha reducido el caudal de las quebradas principales como La Cañada, La Carraca, Mata de Plátano, La Honda entre otras, en época de verano intenso el caudal reduce drásticamente o han desaparecido, ha habido afectación a pozos someros (cisternas) causando daños considerables, perjudicando a los usuarios de las partes más bajas ya que el nivel de agua no es suficiente para satisfacer la demanda total de las familias del sector; por lo tanto se da importancia al recurso hídrico subterráneo como alternativa para el abastecimiento de agua para los predios en la Mesa de Los Santos, jurisdicción CAS, pero con una reglamentación o Plan de Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas, de tal modo que se garantice a las futuras generaciones su permanencia, calidad y un uso con mínima afectación al medio ambiente.

La Corporación Autónoma Regional de Santander “CAS”, como máxima autoridad ambiental para este sector del municipio de Los Santos, en especial al sector de La Mesa, inició la elaboración de un Diagnóstico Hidrogeológico, con el fin de realizar la formulación del Plan de Manejo Integrado de Aguas Subterráneas en el municipio de Los Santos, Sector La Mesa de Los Santos.

Dentro de la empresa donde se realizara la práctica cuenta con los expertos en hidrogeología y geofísica quienes serán los directos responsables de guiar las experiencias y el manejo correspondiente a las temáticas a desplegar y que permitirán al estudiante desarrollar y profundizar en diversas actividades tales como salidas campo para reconocimiento Geológico, desarrollo de informes

técnicos, ejecución de capacitación y actualización de términos Geológicos y uso de equipos para el personal de la empresa y en los temas correspondientes para el adecuado desarrollo de la Práctica Empresarial, Donde se tomó como referencia para demostrar como proyecto de grado ***“ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SECTOR LA MESA EN EL MUNICIPIO DE LOS SANTOS. SEGUNDA FASE”***.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- El objetivo principal de este Trabajo consiste en Participar en la realización de la Elaboración y Formulación del Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas en el Sector La Mesa, Municipio los Santos, Santander, Segunda Fase en calidad de PRACTICANTE.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Como objetivos específicos se tienen los siguientes:

- Participar en el Análisis del Recurso Hídrico Subterráneo, mediante la integración de la información básica sobre la oferta y la demanda por medio del inventario del tipo de puntos de agua subterránea en el Sector La Mesa, municipio de Los Santos, Santander.
- Participar en la Interpretación de los elementos externos que pueden amenazar la calidad y cantidad, mediante el análisis de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos.
- Intervenir en la Interpretación y resultados de las tres Tomografías 2D realizadas en la zona de estudio, en el Sector La Mesa, municipio de Los Santos, Santander.
- Cooperar en la realización y diseño líneas estratégicas para la implementación del Plan de Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas su administración y aprovechamiento en el Sector La Mesa, municipio de los Santos, Santander.
- Lo anterior permite al estudiante adquirir destreza en el manejo de información

correspondiente a los temas a desarrollar, haciendo parte integral del grupo técnico. Dentro de estas actividades puntuales no solo hidrogeología y geofísica sino también social y ambiental se tienen: Participación del desarrollo de entrevistas técnicas, manejo de los formatos producidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) para este tipo de proyectos, participación en aprendizaje en el los procesos de interpretación de Tomografías 2D, información secundaria de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's), y comunicación e interacción con la comunidad en cuanto a las necesidades de agua para fines domésticos especialmente. Participación en la elaboración del Informe Final, con sus mapas y anexos correspondientes

3. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo se desarrolla aproximadamente entre las coordenadas geográficas X: 1'252.100m N y Y: 1'112.890m E en la microcuena quebrada La Honda y entre las coordenadas X: 1'241.000m N y Y: 1'106.000m E en la Vereda Rosablanca. Sector la Mesa del Municipio de Los Santos Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS. (Ver Figura 1).

La zona de estudio se haya ubicada en la parte nororiental del municipio de Los Santos, aproximadamente, a veinte kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, de donde se sale por la vía que conduce a la ciudad de Bogotá, apartando en la estación de gasolina Piedecuesta. La Mesa de Los Santos es disectada por los ríos Chicamocha al sur y el río Sogamoso al occidente. Al norte está la quebrada Los Fríos u Honda. El río Sogamoso se forma al confluir los ríos Chicamocha y Suárez al suroccidente del municipio.

En la parte aledaña a los ríos mencionados la altura está sobre los 250 msnm. Y La Mesa alcanza elevaciones de más de 1600 msnm. En la Figura 1 se aprecian la delimitación de la jurisdicción CAS, donde se encuentra La Mesa y que comprende, aproximadamente 10.000 hectáreas hasta la quebrada La Honda, límite con el municipio de Piedecuesta.

Figura 1. Localización general de la Mesa de los Santos en el Departamento de Santander en el municipio de Los Santos. La Mesa de los Santos está delimitada por los Ríos Chicamocha al SE, Sogamoso al W, Manco al NE y quebrada los Montes al N



Fuente: Diaz, E. 2008; GOOGLE EARTH, 2016. (Adaptado por autor)

4. MARCO METODOLOGICO

La metodología a seguir en la formulación del presente Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos, jurisdicción CAS, se ciñe a lo establecido en el Decreto 1640 de 2012 y a las instrucciones consignadas en la Guía preliminar para Formulación de Planes de Manejo ambiental de Acuíferos establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. La estrategia participativa se diseñó siguiendo lineamientos metodológicos desarrollados y validados desde las ciencias sociales.

El Plan de Manejo de Aguas Subterráneas, es un instrumento de planificación y administración mediante la ejecución de proyectos y actividades de conservación, protección y uso sostenible del recurso. El Plan de Manejo de Aguas Subterráneas se desarrolló teniendo en cuenta las siguientes fases:

4.1. FASE DE APRESTAMIENTO

Es la fase en la cual se conforma el equipo técnico necesario para realizar y acompañar la formulación e implementación del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas. En esta fase se define el equipo técnico, recopilación de la información, diseño de la estrategia de comunicación, de socialización, cronograma de actividades, la logística requerida y el plan de trabajo que permitan el normal desarrollo del proyecto.

4.2. FASE DE DIAGNÓSTICO

En la fase de diagnóstico se identificará y caracterizará la problemática generada por desequilibrios del medio ambiente, la degradación en cantidad o calidad del recurso hídrico, los riesgos naturales y antrópicos estableciendo las causas, los impactos ambientales, entre otros aspectos. Resumiendo el Plan de Manejo de Aguas Subterráneas, se conforma por dos componentes: el modelo hidrogeológico conceptual y el componente sociocultural y económico.

Dentro del componente del modelo hidrogeológico conceptual el cual incorpora una interpretación de las condiciones geológica, geofísica, hidráulica, inventario de puntos de agua, hídrica, meteorológica, análisis de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, la caracterización de la calidad del agua y la definición de oferta y demanda entre otros.

El componente social, cultural y económico inicia con una descripción general de las características geográficas de la región, seguido del análisis de actores, evaluando la vulnerabilidad humana y se hace un reconocimiento de problemas y amenazas de los elementos culturales en torno al agua.

4.3. FASE DE FORMULACIÓN:

En esta fase se definen las Líneas Estratégicas, los programas, proyectos y actividades a ejecutar por la autoridad ambiental en este caso la Corporación Autónoma Regional de Santander “CAS” con el de dar solución a las problemáticas y riesgos asociados, identificados en la Fase de Diagnóstico.

Lo anterior se desarrolló a partir del dialogo entre actores (encuestas socioculturales), visitas de campo (caracterización del modelo hidrogeológico), los

escenarios futuros de uso sostenible del recurso hídrico subterráneo, conflictos sociales ambientales y del aprovechamiento. Estos se construyen a partir de metodologías en donde se definen en forma participativa, con el fin de solucionar la problemática identificada en el diagnóstico.

El resultado inmediato es la identificación de objetivos y líneas estratégicas que orientarán a la Corporación Autónoma Regional de Santander a la siguiente Fase del componente del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos, Santander.

4.4. FASE DE EJECUCIÓN

En esta fase de ejecución, la Corporación Autónoma Regional de Santander “CAS” debe emprender las acciones de coordinación institucional necesarias para la implementación de los programas y proyectos que fueron priorizados en el escenario formulado en el Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos, Santander, y para los cuales se hayan asignado o gestionado los recursos financieros requeridos.

Esta implementación por parte de la Corporación Autónoma Regional de Santander “CAS”, de acciones, programas y proyectos, debe llevarse a cabo con el acompañamiento de los actores sociales e institucionales quienes deben asumir el papel que les corresponde de acuerdo con lo señalado en el Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos, Santander.

4.5. FASE DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

Es la fase es importante la continuación con los mecanismos y estrategias de participación, las cuales deben estar enmarcadas en las acciones locales de seguimiento y evaluación de los programas, proyectos y actividades con respecto al agua subterránea y hacer uso de las veedurías ciudadanas para evaluar el cumplimiento de metas, roles y responsabilidades de todos los actores.

5. FASE DE APRESTAMIENTO

Con esta fase se inicia el proceso de formulación del Plan de Manejo de Aguas subterráneas en el sector La Mesa del municipio de los Santos, Santander.

Se concibe como una fase preparatoria y de planificación en la cual se conforma el equipo técnico necesario para la recopilación de la información, cronograma de actividades, diseño de la estrategia de comunicación, divulgación, socialización, participación, la logística requerida y el plan de trabajo que permitan el normal desarrollo del proyecto.

Figura 2. Mapa conceptual Fase de Aprestamiento Tomado y modificado de la guía metodológica para formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.



5.1. CONFORMACIÓN DEL EQUIPO TÉCNICO

Para el proceso de formulación del Plan de Manejo de Aguas subterráneas en el sector La Mesa del municipio de los Santos, Santander, se ha conformado el equipo técnico requerido, el cual se presenta en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Conformación Equipo Técnico.

NOMBRE	PERFIL	FUNCION
JORGE ENRIQUE ZAMBRANO ARENAS.	Geologo/ especialista en ingeniería de preservación y conservación de recursos hídricos y suelos	Coordinador general del proyecto
CARLOS WANDURRUAGA BARON	Geólogo especializado en exploración geofísica en prospección de agua subterránea y geología de superficie	profesional en geología
LEONARDO WANDURRUAGA JIMENEZ	Ingeniero Civil/ especialista en geotecnia ambiental y recursos hídricos	profesional en recurso hídrico
NURY PAOLA URIBE VARGAS	Estudiante de Geología	Practicante de Geología
DIANA GRANADOS PINTO	Psicóloga especialista en salud ocupacional	Coordinación operativa
LEANDRO ALVAREZ	Psicólogo	procesos de participación comunitaria y manejo de técnicas de participación.


5.2. ELABORACIÓN DEL PLAN DE TRABAJO

Dando cumplimiento a la actividad establecida en el proceso de la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos y en el Decreto 1640 de 2012, se elaboró el Plan Operativo para la ejecución de la segunda etapa del proyecto. El Plan Operativo aprobado se muestra en (Anexo 1).

5.3. CRONOGRAMA PARA LA EJECUCIÓN DEL PLAN OPERATIVO.

Para el proceso de Elaboración y Formulación del Plan de Manejo de Aguas subterráneas en el sector La Mesa del municipio de los Santos, Santander, se ha realizado una representación gráfica y ordenada según el tiempo estipulado para el desarrollo del contrato, el cual garantiza y optimiza el tiempo para la ejecución del proyecto. En la Tabla 2 se presenta el cronograma de actividades.

Tabla 2. Cronograma de Actividades.

	CRONOGRAMA ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SECTOR DE LA MESA EN EL MUNICIPIO DE LOS SANTOS, SEGUNDA FASE.															
	DICIEMBRE		ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL	
	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2
FASE 1. APRESTAMIENTO:																
Recopilación y análisis de información.																
Plan de trabajo.																
Identificación de actores, diseño de estrategia de socialización.																
Reuniones de socialización sector de Mesa de Los Santos.																
Evidencias actas, registro fotográfico.																
FASE 2. DIAGNÓSTICO:																
Establecer la oferta y la demanda de aguas subterráneas.																
Inventario de puntos de agua.																
Análisis de fuentes potenciales de contaminación.																
Análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.																
Toma de muestras y análisis fisicoquímicos de 10 muestras de aguas diferentes pozos.																
Realización e interpretación de Tomografías 2D longitud 1100 m.																
Cartografía y digitalización planos temáticos con ubicación pozos encontrados, tomografías realizadas y sitios de muestreo de aguas.																
FASE 3. FORMULACIÓN:																
Medidas a implementar, proyectos, actividades a ejecutar con el fin de solucionar la problemática identificada.																
Costos y responsables.																
FASE 4. EJECUCIÓN:																
Desarrollo de proyectos, actividades conforme a los dispuesto en la Fase de Formulación.																
FASE 5. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN:																
Seguimiento y evaluación del plan conforme a las metas e indicadores planteados.																
Definir ajustes si los hay.																

5.4. BÚSQUEDA Y REVISIÓN DE ESTUDIOS DISPONIBLES

Se realiza una compilación, revisión y evaluación secundaria como cartografía básica, estudios, informes, diagnósticos, estadísticas, evaluaciones hidrogeológicas. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Estudios existentes relevantes para los objetivos en la zona de estudio

Estudios existentes relevantes para los objetivos en la zona de estudio			
TITULO	AUTOR Y AÑO	SUMINISTRA	ESTADO DE INFORMACION
Primera fase para el plan de manejo ambiental de aguas subterráneas en el sector de la mesa de los santos, municipio de los santos. jurisdicción de la corporación autónoma regional de santander "cas".	INGEOEXPLORACIONES S.A.S. Carlos M. Wandurraga B.-2015	Corporacion autonoma Regional de Santander CAS-2008	Completo
Decreto 1640 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico - 2012	Disponible Web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Completo
Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-2014	Disponible Web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Completo
Guía Vulnerabilidad intrínseca	Grupo de Recurso Hídrico del Viceministerio de Ambiente – 2010	Disponible Web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Completo
POMCA La Cañada	CABILDO VERDE DE SABANA DE TORRES-2008	Corporacion autonoma Regional de Santander CAS-2008	Completo
ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE LOS SANTOS – SANTANDER	Alcaldía municipal del Municipio de lo Santos	Disponible en pagina Web	Completo
HIDRÁULICA DE AGUAS SUBTERRANEAS	María Victoria Vélez Otálvaro-1999	IDEAM	Completo
LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	ANDRÉS SAHUQUILLO HERRÁIZ-2009	IDEAM	Completo
EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS DE LA MESA DE LOS SANTOS, SANTANDER	Eliana Jimena Díaz; Nathalia Maria Contreras; Jorge Eduardo Pinto- 2009	Disponible en pagina Web	Completo

Propuestas Metodológicas para la protección de Agua Subterránea	Banco Mundial, 2002	Disponible en página Web	Completo
Estudio Nacional del agua	IDEAM, ENA 2010,	Disponible en página Web	Completo
Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur	Unesco Rostlac, 1982	Disponible en página Web	Completo
Fundamentos de Hidrología de Superficie.	Aparicio, F. 1989.	Editorial Limusa	Completo
Hidrología Subterránea	Custodio, E., y Llamas, M. 1978.	Editorial Omega S. A. Barcelona. Tomos I y II.	Completo
Hidraulics of Groundwater.	Bear, J. 1979	Mc Graw Hill, New York.	Completo
Tratado de Geofísica Aplicada.	Cantos F. 1978	página de internet	Completo
Clasificaciones Climáticas,	HIMAT, 1991	página de internet	Completo
Atlas climático,	IDEAM,	página de internet	Completo
Proyecto de investigación geológica e hidrogeológica en La Mesa de los Santos, sector Noreste de Curiti y borde occidental del Macizo de Santander, Departamento de Santander. Estratigrafía de la Formación los Santos (Mesa de Los Santos, Departamento de Santander)..	Ingeominas - UIS. 2008.	Base de Datos UIS	Completo
Investigación Geológica e Hidrogeológica en La Mesa de los Santos y sector Nordeste de Curiti. Proyecto de investigación geológica e hidrogeológica en La Mesa de los Santos, Sector Nordeste de Curiti y borde occidental del Macizo de Santander, Departamento de Santander. ANEXO 6C. Mapas Geológicos escala 1.25.000 de las planchas 120-IV-A, 120-IV-B, 120-IV-C, 120-IV-D, 135-II-A, 135-II-B, 135-II-D, 135-IV-B, 136-I-C.	Ingeominas-UIS, 2008	Base de Datos UIS	Completo
Mapa Geológico Generalizado de Santander.	Ingeominas. 1998.	página de internet	Completo
Estratigrafía de la Formación Los Santos en las secciones estratigráficas la Punta, Carrizal (mesa de los santos) y la Cuevana (Curiti). Departamento de Santander	Rincon M, 2008	Base de Datos UIS	Completo
Análisis de fracturas para la exploración de aguas subterráneas en el centro de Santander	Velandia F, 2010	Base de Datos UIS	Completo
Geosounding Principles, 1 Resistivity Sounding Measurements. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam	Koefoed, Otto. 1979.	página de internet	Completo
Conferencias Curso Evaluación de Recursos de Aguas Subterráneas	T 1988.	bogota	Completo
Estudios Geoelectricos Mesa de Los Santos, Jurisdicción de La Corporación Autónoma Regional de Santander	Wandurraga B, Carlos 2010-2015	INGEOEXPLORACIONES SAS	Completo

5.5. ESTRATEGIAS DE CONVOCATORIA, COMUNICACIÓN, DIVULGACIÓN Y PARTICIPACIÓN

Como estrategia utilizada para la convocatoria a las tres reuniones de socialización del proyecto Plan de Manejo de Aguas Subterráneas, se concibió la entrega de 1.500 volantes (ver Figura 3.) y cuñas radiales en las emisoras más escuchadas de este sector para divulgar cada una de las reuniones en sitios estratégicos como peaje, tiendas, locales comerciales, conjuntos cerrados, fincas, viviendas y lugares turísticos.

Así mismo, en cada entrega se explicó a cada actor los objetivos del proyecto y la importancia de hacer parte del mismo con su asistencia. Como estrategia de participación se realizaron tres reuniones, El sitio escogido para realizar el evento se decidió un lugar estratégico central al área de estudio, conocido por la comunidad y de fácil acceso. El cuál es El restaurante Mi Colombia Querida, la propietaria del establecimiento es un actor social que facilitó los medios para el desarrollo de las tres reuniones. (Ver Figura 4.)

Figura 3. Volantes utilizados como estrategia de convocatoria a las reuniones de socialización.



Figura 4. Reuniones de socialización con los diferentes actores para el desarrollo del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos



6. FASE DIAGNOSTICO

En esta fase de diagnóstico se realizó la caracterización del sistema acuífero y de las condiciones socioculturales de la población de la Mesa de los Santos Jurisdicción CAS, con el fin de elaborar la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, identificar los conflictos y problemáticas por su uso, analizar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación e identificar las fuentes potenciales de ésta y la caracterización de la calidad del recurso hidrogeológico. En el ámbito social, cultural y económico se construirá el conocimiento relacionado con el análisis de actores. (Ver figura 5.)

Figura 5. Mapa conceptual de la Fase de Diagnostico Tomada y modificada de la guía metodológica para formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

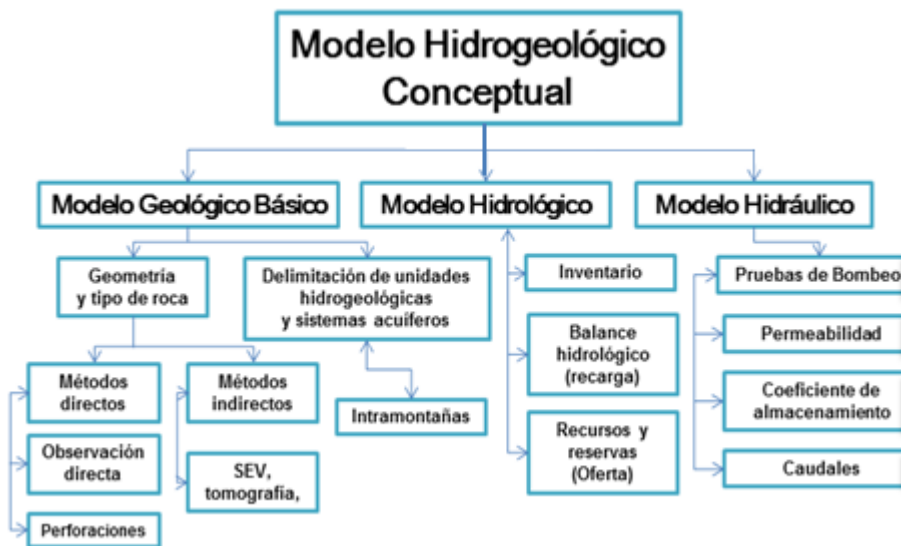


6.1. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL (MHC)

El MHC integra la información geológica, geofísica, hidrológica, hidrodinámica, hidráulica, para ilustrar los procesos y flujos que ocurren en las dimensiones espaciales de su dominio.

En la siguiente figura 6. Se ilustra los componentes del Modelo Hidrogeológico Conceptual.

Figura 6. Mapa conceptual del Modelo hidrogeológico conceptual.



Fuente: Modificado (IDEAM, 2013)

6.2. EVALUACIÓN GEOLÓGICA

En el trabajo de grado “cartografía geológica a escala 1:25.000 de La Mesa de Los Santos, departamento de Santander”. Vargas, C. 2008, define la litoestratigrafía para la Mesa de

En su orden estratigráfico, Las Formaciones que comprenden rocas de edad Paleozoica correspondiente a la Formación Silgará (OSs), rocas ígneas de edad Mesozoica representadas por el Granito de Pescadero (J1gp), y Formación Jordán (J1-2j) y rocas del Cretácico Inferior representadas por las Formaciones Los Santos (K1ls), y Cumbre (K1c), Rosablanca (K1r), Paja (K1p) Tablazo (K1t), Cuerpos intrusivos de posible edad Paleozoica y Mesozoica(no presentes en la zona de estudio) y depósitos consolidados y no consolidados Cuaternarios. Estas unidades se componen en su mayoría por sedimentos siliciclásticos, lodolitas y carbonatos.

La litología predominante para el sector de interés hidrogeológico, corresponde a unidades de origen continental del Cretácico inferior, correlacionable con la Formación Los Santos, principalmente compuesta por areniscas de grano fino a medio, bien seleccionadas y areniscas cuarzo-feldespáticas fracturadas y meteorizadas al techo.

La morfología de la mesa expresa que la topografía es aproximadamente paralela a los planos de estratificación, interrumpidas en si por algunas variaciones locales debido a la presencia de fallas y pliegues abiertos. El relieve es plano, con una ligera inclinación al SW.

Estas rocas presentan en términos generales exposición aceptable, meteorización avanzada, observable a lo largo de las vías de comunicación y cañadas, dentro y fuera del área.

6.2.1. Geomorfología. Para el estudio geomorfológico se tuvieron en cuenta dos aspectos básicos: morfometría y morfodinámica. (Ver figura 8.)(Anexo 2)

- **Formas de origen denudacional (D)**

Tienen que ver con el conjunto de procesos que han actuado y continúan actuando sobre el paisaje terrestre. Las unidades reconocidas en esta categoría son las siguientes:

(D1) Colinas y pendientes denudacionales. Pendientes suaves a moderadamente empinadas, topografía ondulante a rizada, ligeramente a moderadamente disectada. Se encuentra en la parte Este del municipio de los Santos en la Vereda San Rafael sobre rocas de la formación Silgará y Jordán y en la parte norte en la Vereda Llanadas sobre rocas de la Formación Los Santos.

(D2) Colinas y pendientes denudacionales. Pendientes moderadamente empinadas a empinadas, topografía rizada a colinada. Moderadamente a severamente disectadas. Esta unidad se puede apreciar en la parte este del municipio en el sitio conocido como alto de Arenas. Abarca en su mayoría rocas de la Formación Silgará y Granito de Pescadero.

(D3) Colinas y montañas denudacionales. Empinadas a muy empinadas con topografía colinada a montañosa. Moderadamente a severamente disectadas. Esta unidad se puede observar en la parte norte del municipio, en la Vereda Llanadas. Abarca rocas de la formación Jordán.

(D6) Peneplanicies/mesetas. Aproximadamente planas, con topografía ondulada a rizada. Ligeramente a moderadamente disectada. Se localiza en la vereda Las Delicias en rocas de la Formaciones Los Santos y Girón; también se observa en el sitio conocido como Buenos Aires en la Vereda Rosablanca.

- **Formas de origen denudacional estructural (S)**

Son aquellas formas del terreno con procesos denudacionales actuales y con control estructural. Las unidades identificadas de esta categoría son las siguientes:

- (S1) Topografía ondulante a rizada con sistema de drenaje predominantemente relacionada a fracturas, fallas o patrones de esquistosidad.** Pendientes suaves a moderadas, moderadamente disectadas. Se localiza en una franja a lo largo de la quebrada la Santera, abarca desde el pueblo los Santos hasta el sitio los Mangos en la Vereda Espinal bajo. Comprende rocas de la Formaciones Los Santos y Rosablanca. También se observa en la Vereda La Purnia grande en rocas de la formación Jordán.
- (S2) Topografía de lomos y vertientes onduladas rizadas con sistema de drenaje predominantemente relacionado a afloramientos de rocas estratificadas.** Topografía con pendientes suaves a moderadamente empinadas con patrón lineal. Se encuentra en una franja paralela a la unidad S1 que va a lo largo del margen oriental de la quebrada la Santera. Abarca rocas de las Formaciones Jordán, Rosablanca, Paja y Tablazo.
- (S3) Topografía rizada a colinada con sistema de drenaje predominantemente relacionado a fracturas, fallas o patrones de esquistosidad.** Pendientes moderadamente empinadas a empinadas, moderadamente a severamente disectadas. Se encuentra en el extremo Sur-Occidental del municipio en las Veredas Salazar, y Mojarras; las rocas que conforman esta unidad pertenecen a las Formaciones Silgará, Jordán y Los Santos.
- (S5) Mesas/planicies estructuralmente controladas.** Topografía plana a ondulada, aproximadamente horizontal a suavemente empinado sobre la planicie y muy empinado en las zonas de escarpe. Esta unidad forma la denominada Mesa de los Santos, es la más extensa; se encuentra en rocas de la Formación Los Santos. (Ver Figura 7)

Figura 7. Panorámica mostrando las diferentes unidades geomorfológicas al SW del municipio de Los Santos. Se observa la discordancia Jurásico-Cretácico entre Jordán y Los Santos.



Fuente: EOT Municipio De Los Santos – Santander

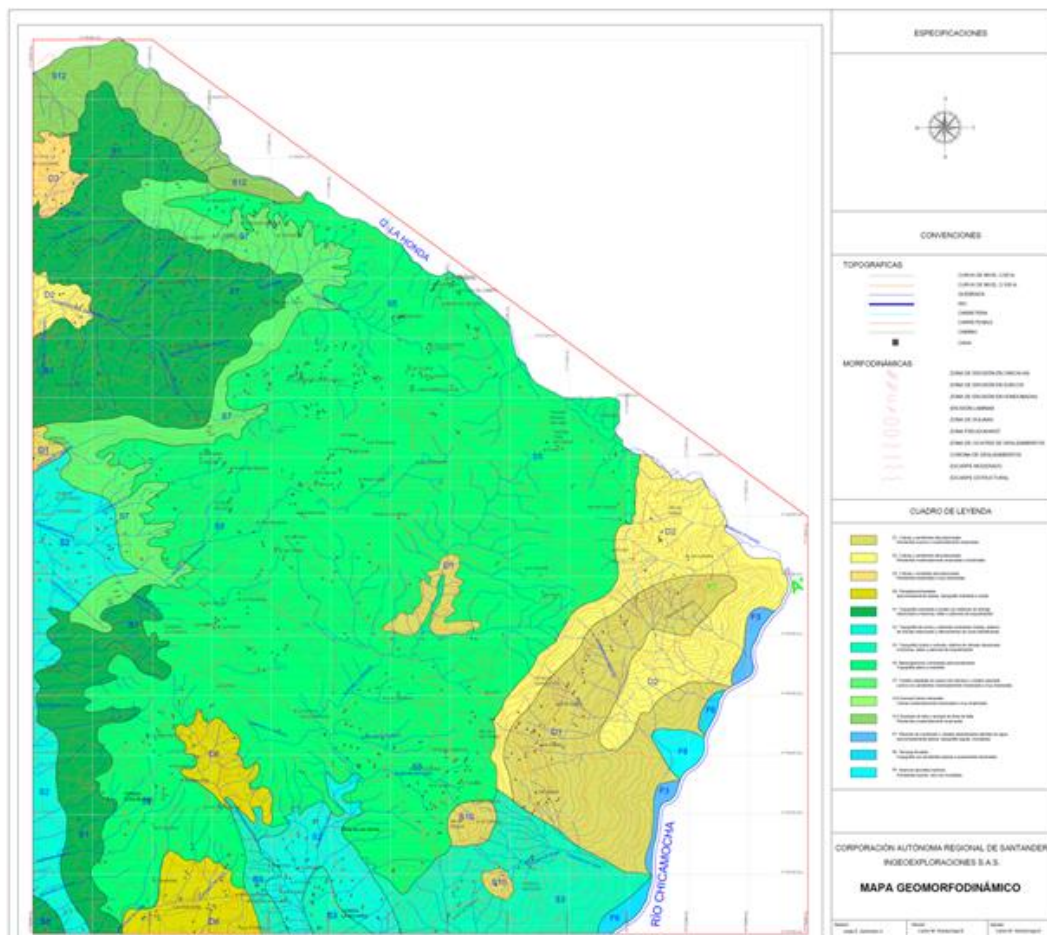
- (S7) Crestón en espalda de marrano y crestón aserrado.** Lomos con pendientes moderadamente empinadas a muy empinadas. Moderadamente disectadas. Se observa una franja estrecha al oeste del Club Náutico Acuarela, adyacente a la unidad S5. En rocas de las Formaciones Santos y Girón en el sitio de la quebrada el Chulo.
- (S10) Domos/colinas residuales.** Colinas moderadamente empinadas a muy empinadas, moderadamente disectadas. Se encuentran en la Vereda Tabacal, son pequeñas y están en forma aislada. En rocas de las Formaciones Silgará, Girón y Santos en el sitio conocido como el alto del Tabacal.
- (S12) Escarpes de falla y escarpe de línea de falla.** Pendientes moderadamente empinadas, moderadamente a severamente disectadas. Esta unidad se encuentra en el sitio conocido como el salto del Duende, en rocas de la Formación Jordán y en el cañón de los ríos Chicamocha y Sogamoso.
- **Unidades de origen fluvial (F)**
- (F3) Planicies de inundación y canales abandonados latentes sin agua.** Aproximadamente planos, de topografía irregular, estacionalmente inundables, básicamente sujetos a colmatación por acumulación fluvial.

Bordean el cauce del río Chicamocha, formando depósitos aluviales con longitudes que varían de 1 y 2 Kms y el ancho de 100 a 200 m aproximadamente.

(F6) Terrazas fluviales. Topografía con pendientes aproximadamente planas a suavemente empinadas. Ligeramente a moderadamente disectadas. La mayoría bordeando el cauce del río Chicamocha.

(F8) Abanicos aluviales inactivos. Pendientes suaves a moderadas, rara vez inundados, ligera a moderadamente disectados. Se ubican en la desembocadura de quebradas sobre el río Chicamocha en depósitos cuaternarios.

Figura 8. Mapa Geomorfodinámico.



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas, Sector La Mesa. Fase

6.2.2. Estratigrafía. En este capítulo se ilustran las características litológicas y sedimentológicas de las unidades de roca del subsuelo que están comprometidas en la amplitud de investigación de la herramienta Geoeléctrica, además de evaluar y comprender las propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades que están en capacidad de almacenar el agua subterránea; es decir, interesa detallar la estratigrafía de las unidades de roca que estarían incluidas en proyectos de explotación del agua subterránea. Se entiende que a profundidades mayores a las del estudio Geoeléctrico existen diferentes unidades de roca, que para el objetivo exploratorio de este estudio no implican repercusión importante en la investigación del recurso agua y por ello se describen pero no se tienen en cuenta como potencial Hidrogeológico sobre ellas en el presente informe.

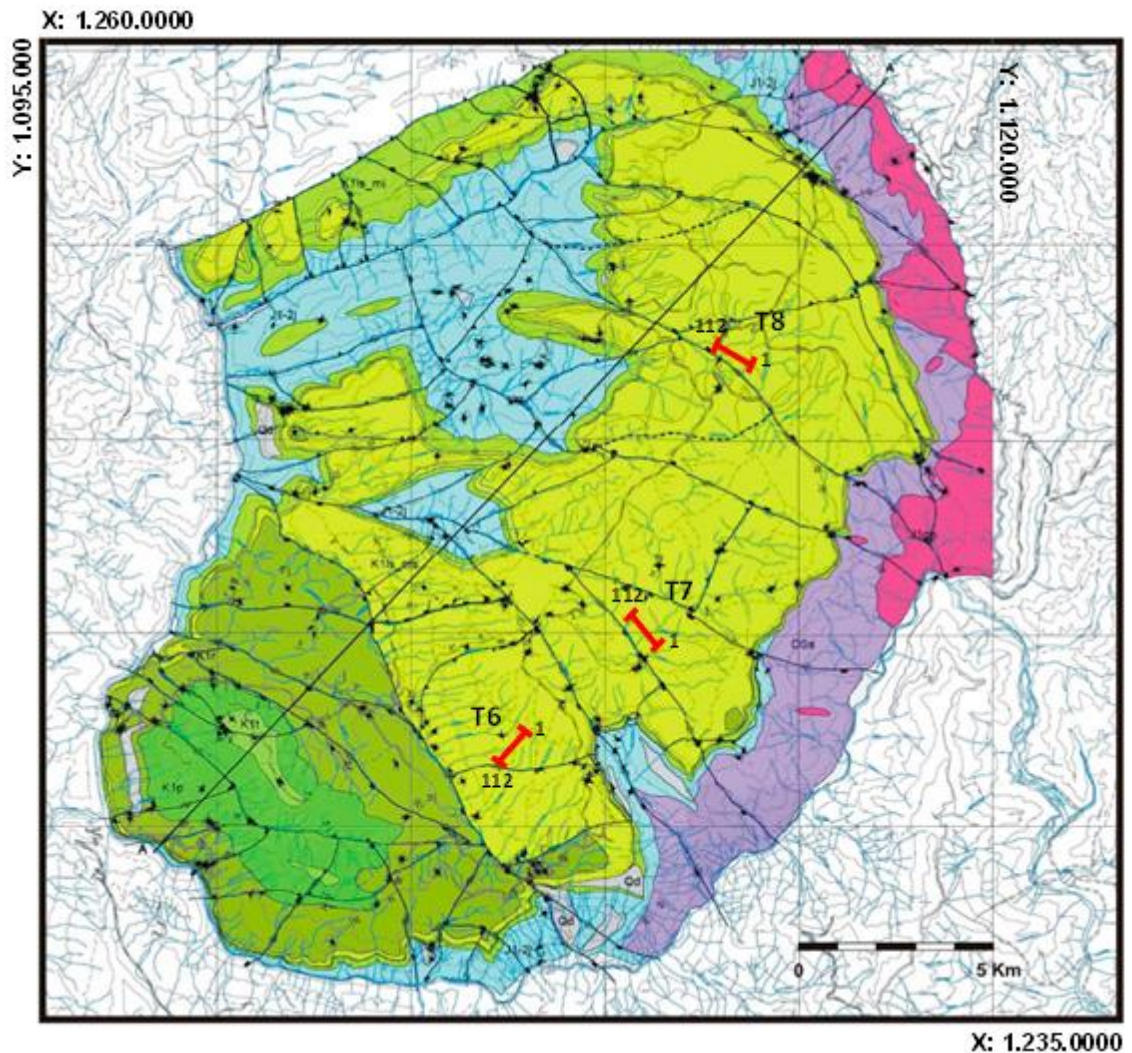
6.2.2.1. Formación Silgará: La Formación Silgará está constituida por rocas metamórficas de estructura esquistosa bien definida y muy fina, comprenden principalmente esquistos micáceos cloríticos de textura lepidoblástica con mineral accesorio el granate.

6.2.2.2. Granito de Pescadero: El granito de Pescadero se muestra intruyendo la Formación Silgará y está constituido por rocas ígneas de textura porfirítica a afanítica.

6.2.2.3. Formación Jordán: La Formación Jordán está compuesta predominantemente por limolitas intercaladas con areniscas lodosas de grano fino en capas medianas y gruesas con geometría plana paralela y en menor proporción capas de conglomerados líticos rojizos.

La Formación Jordán presenta contacto inconforme y fallado con la infrayacente Formación Silgará, y contacto en discordancia angular con la suprayacente Formación Los Santos al Sur y Oeste de la zona.

Figura 9. Mapa Geológico local y de Localización de las Tomografías Eléctricas 2D T6, T7, y T8 en el sector de la Mesa, municipio de Los Santos, departamento de Santander.



LEYENDA

 Depósitos Cuaternarios	 Formación Rosablanca	 Granito de Pescadero
 Formación Tablazo	 Formación Los Santos	 Formación Silgara
 Formación Paia	 Formación Jordán	 Sitio Tomografía Eléctrica 2D
 Falla Inversa	 Falla Normal	

Fuente: Tomada y modificada de INGEOMINAS-UIS, 2008

6.2.2.4. Formación los Santos: La Formación Los Santos se subdivide en tres miembros litoestratigráficos.

- **El miembro inferior**, está constituido por capas medias a gruesas de conglomerados arenosos y areniscas conglomeráticas de color rojo grisáceo, con estratificación grano decreciente, laminación cruzada y lechos conglomeráticos, de composición sublitoconglomerática y sublitarenita. Este miembro presenta un cambio facial hacia el SO de la Mesa y constituido por areniscas cuarzosas de grano medio a muy grueso.
- **El miembro medio**, está constituido por limolitas y arcillolitas de color marrón rojizo con manchas verdosas grisáceas producto de la reducción de materia orgánica, intercaladas con areniscas de grano muy fino a medio. En este miembro se observa laminación plano paralela y cruzada.
- **El miembro superior**, está compuesto por cuarzoarenitas y sublitarenitas en capas medianas a gruesas con geometría cuneiforme de color gris amarillo pálido, con estructuras internas como laminación cruzada, planoparalela y en artesa.

La Formación Los Santos se encuentra en discordancia angular con la infrayacente Formación Jordán.

6.2.2.5. Formación Rosablanca: Esta formación está constituida predominantemente por rocas carbonatadas. El contacto estratigráfico de la Formación Rosablanca con la infrayacente Formación Cumbre es concordante transicional y con la suprayacente Formación Paja es concordante neto.

6.2.2.6. Formación Paja: La Formación Paja hacia la base presenta limolitas café oscuras con concreciones de caliza de 0.1–1.0m de diámetro con amonites y láminas de yeso blanco fibroso muy fino.

Hacia el techo se observan limolitas micáceas color grises y rojizas, muy físciles con fracturas rellenas, impresiones de amonites y concreciones de caliza de diámetro de 4–30cm de diámetro, intercaladas con capas de arenisca arcillosa de espesor de 1m y limolitas calcáreas de espesor de 30cm.

Los contactos estratigráficos de la Formación Paja con la infrayacente Formación Rosablanca y la suprayacente Formación Tablazo son concordantes transicionales.

6.2.2.7. Formación Tablazo: La Formación Tablazo presenta capas gruesas tabulares de areniscas calcáreas de grano fino a medio fosilífero (bivalvo) y calizas fosilíferas, presenta fuerte diaclasamiento, con fracturas abiertas y rellenas de calcita.

6.2.2.8. Depósitos Aluviales: Se encuentran por encima del nivel de los actuales cauces de los ríos Sogamoso y Chicamocha, su origen es hidrogravitacional y conforman franjas relativamente angostas en sentido NE-SO.

6.2.2.9. Depósitos de Derrubios: Corresponden a los depósitos de pendientes de origen local, siendo de los más notorios, se observan en los escarpes de la Mesa de Los Santos hacia el Cañón del Río Chicamocha, se depositan sobre rocas de la Formación Jordán y presentan rangos variables de espesor, suavizando la topografía de la zona donde se depositan.

El área de la Mesa de Los Santos se caracteriza por corresponder a una zona relativamente estable tectónicamente, a pesar de estar localizada cerca del llamado Nido Sísmico de Bucaramanga y de las mencionadas anteriormente.

Sin embargo, se encuentra afectada por una serie de fallas secundarias de diferente naturaleza, que desde el punto de vista hidrológico son importantes ya que controlan el comportamiento del flujo subterráneo, el cual presenta como principal fuente de recarga a las precipitaciones.

La Mesa de Los Santos está afectada por una tectónica compresiva de bloques, en la que predomina el fallamiento inverso con pliegues abiertos de dirección general Nor-Noroeste y NW. Las estructuras regionales predominantes son la Falla del Suárez y la Falla Bucaramanga - Santa Marta, las cuales generaron una porosidad secundaria debido al fracturamiento. Este comportamiento parece haber favorecido al sector del estudio, el cual se encuentra enmarcado entre estas estructuras y localmente se presenta la Falla Mojarras, Falla Los Santos y otras presentes con dirección hacia el NW.

Los buzamientos regionales y locales de los estratos rocosos son muy suaves y tienen dirección preferencial hacia el SE, al igual que la foliación principal de las rocas metamórficas pertenecientes a la Formación Silgará, que corresponden a la parte basal de la zona.

6.2.3.1. Falla Bucaramanga - Santa Marta: La zona de Falla Bucaramanga – Santa Marta se ha cartografiado en una longitud aproximada de 600 Km. desde el extremo sur del Macizo de Santander hasta la costa Caribe, al oeste de Santa Marta; su desplazamiento es horizontal izquierdo, acompañado de grandes desplazamientos verticales (Campbell, 1969; Ward et al, 1973 e Irving, 1971 en Vásquez, 1988). Su tendencia es NW – SE (Pérez, 1988)

Campbell, 1965 calcula un desplazamiento natural izquierdo según el rumbo de 110 Km., basado en la similitud entre las secuencias Cretácicas y Terciarias de las Cuencas del Magdalena Medio y Cesar.

Julivert, 1961 (En Ward et al, 1973) muestra la Falla de Bucaramanga- Santa Marta como perteneciente a una serie de fallas inversas de ángulo alto, con el bloque oriental levantado, que se formó durante el desarrollo del actual Valle del Magdalena y el levantamiento concomitante del Macizo de Santander.

Tschanz et al, 1974 (En Boinet et al, 1989) proponen un desplazamiento de unos 100 Km. con base en la perforación del pozo Algarrobo I (Municipio El Difícil, Departamento del Magdalena), donde existen esquistos metamórficos similares a aquellos de la provincia NW de la Sierra Nevada de Santa Marta, pero situados a unos 100 Km. más al sur.

Stephan, 1982 (En Boinet, et al, 1989) propone que el arrastre indicador de un movimiento sinextral de la Falla de Bucaramanga, se observa en el truncamiento de las estructuras Paleocénicas y Eocénicas de la parte NW del Macizo de Santa Marta.

La evidencia geológica indica que la deformación ocurrida en la zona relacionada con la Falla Bucaramanga – Santa Marta es muy reciente, probablemente Mioceno-Plioceno, estrechamente relacionada con el levantamiento de la Cordillera Oriental (Vásquez, 1988)

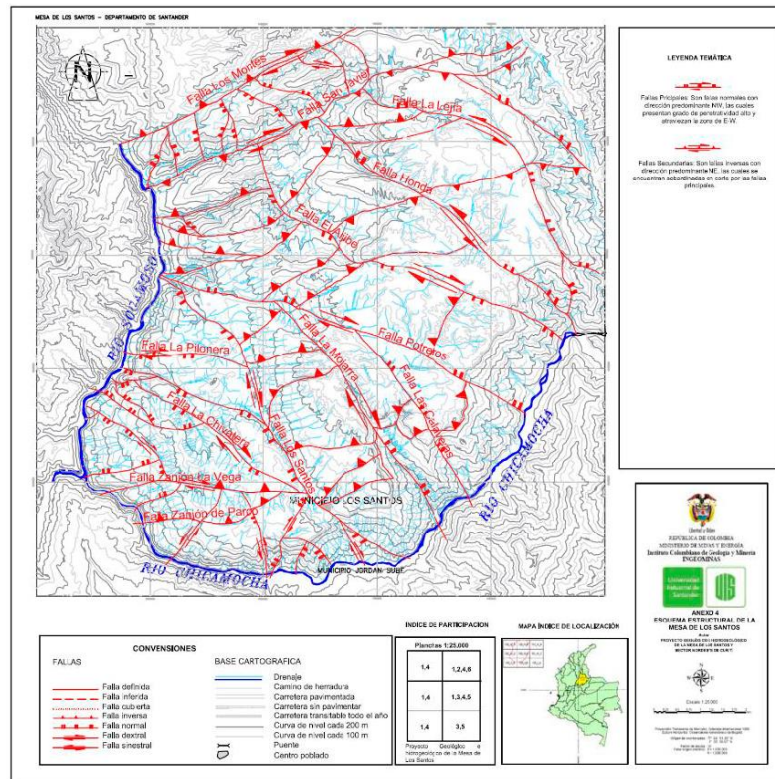
Para Boinet et al. (1989), el máximo desplazamiento de rumbo sinextral de la Falla Bucaramanga – Santa Marta, se sitúa durante el Mioceno – Plioceno

6.2.3.2. Falla Río Suárez - Río de Oro: La Falla del Suárez al Occidente del pueblo de Girón. En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un

alto grado de meteorización de las rocas, hasta el punto de llegarse a confundir con depósitos cuaternarios (Julivert, 1963). Esta falla, a lo largo de su trayecto afecta rocas jurásicas y cretácicas, principalmente de las Formaciones Jordán, Girón, Los Santos (Tambor), Rosablanca, Paja y cerca de su terminación en la Falla Bucaramanga - Santa Marta, afecta rocas del Paleozoico como son las Formaciones Floresta y Diamante. Existen evidencias de campo que indican actividad tectónica reciente para esta falla (Julivert, 1963; Ward, D. et al., 1973; Paris y Sarria, 1988)

Pinto, J. et al. 2007, realiza el mapa estructural de Mesa de Los Santos, figura 11, en el proyecto, “investigación geológica e hidrogeológica de La Mesa de Los Santos, sector Nordeste de Curiti y borde occidental del macizo de Santander”.

Figura 11. Mapa estructural de la Mesa de Los Santos.



Fuente: Pinto, J. et al. 2007

Vargas, C. 2008 mediante la cartografía geológica de la Mesa de Los Santos agrupa las fallas en tres grupos (fallas principales, fallas secundarias, fallas menores), estos tienen características geométricas y cinemáticas particulares figura 11, descritas a continuación:

6.2.3.3. Fallas Principales: Las fallas principales son fallas normales con expresiones rectas, sinuosas y curvas, con dirección preferencial NO, paralelas y subparalelas en su gran mayoría. Estas fallas afectan la secuencia sedimentaria Jurásica y Cretácica, así mismo rocas del basamento. Muestran disposición subvertical con vergencias características de los procesos tectónicos y, un grado de penetrabilidad alto por lo que se encuentran en toda el área. En este tipo de fallas se resaltan:

- **Falla Los Santos**

Se encuentra ubicada al suroeste de la zona de estudio, su trazo presenta dirección NO y se observa sobre las vertientes de la quebrada Seca, Resumidero, Los Santos y Santera. Muestra un trazo sinuoso al noroeste hacia el río Sogamoso y curvo al sureste hacia el río Chicamocha.

La falla muestra una extensión aproximada de 14Km, esta estructura corresponde a una de las fallas más importantes de la zona y una de las más profundas comportándose como una falla de rumbo dextral con componente normal y vergencia al SO, afectando toda la secuencia de rocas aflorantes en la zona. El movimiento de la falla se evidencia mediante fotointerpretación y observaciones de campo, mostrando un salto de aproximadamente 80m.

- **Falla Potreros**

La Falla Potreros se ubica en la parte central de la zona, es una falla principalmente de rumbo dextral con componente normal y vergencia hacia el NE. Presenta una curvatura en la zona del escarpe del Río Chicamocha y recto en la

parte plana de la Mesa. Su longitud aproximada es de 13 Km. Presenta una dirección NO, controla cauces de las quebradas La Laja, la Custodia y la quebrada de la cual toma su nombre Potreros. Esta falla afecta litología de las Formaciones Silgará, Jordán y Los Santos, mostrando un salto vertical de aproximadamente 40 m.

- **Falla El Aljibe**

La falla El Aljibe se encuentra al Noreste de la zona de estudio, muestra un comportamiento rectilíneo en la parte sureste del trazo de falla y un comportamiento sinuoso hacia el noroeste del trazo de falla. La falla lleva el nombre de la quebrada el Aljibe controlando parte de su cauce, principalmente es una falla dextral con componente normal y vergencia SO. La falla afecta litologías como el Granito de Pescadero y las Formaciones Silgará, Jordán y Los Santos, mostrando un salto vertical de 50 m.

6.2.3.4. Fallas Secundarias: Las fallas secundarias son fallas inversas las cuales presentan dirección preferencial NE. Muestran expresión sinuosa y curva. Estas se encuentran subordinadas en relación de corte, por lo que se encuentran en su mayoría contenidas dentro de las fallas principales. En este tipo de fallas se resaltan:

- **Falla San Javier**

La Falla San Javier es una estructura con dirección NE y exhibe un trazo recto con poca sinuosidad. Al noroeste de la zona, controla parcialmente el curso de las quebradas Los Fríos, las Juntas, San Javier y el Loro, y posiblemente la responsable de los escarpes que se presentan en la zona. Es una falla de rumbo con componente inversa y vergencia al SE y con longitud aproximada de 13 Km. Afecta litologías de rocas metamórficas de la Formación Silgará, rocas ígneas del Granito de Pescadero, rocas sedimentarias de las Formaciones Jordán y Los

Santos. Muestra un salto muy corto en la vertical de aproximadamente 10 m hacia el noreste de la falla y de aproximadamente 100 m, al sureste de la misma.

- **Falla Los Montes**

La Falla Los Montes es una falla de dirección NE, con un trazo recto de longitud aproximada de 9Km, solo afecta las litologías de la Formación Jordán y Los Santos. Ubicada al Norte como límite de la zona de estudio, se presenta como una falla dextral inversa con vergencia al NW. El trazo rectilíneo de esta estructura controla casi en su totalidad la quebrada Los Montes y parcialmente la quebrada las Minas.

6.2.3.5. Fallas Menores. Las fallas menores en la zona de la Mesa de Los Santos se observan en dirección E-O. Estas fallas pueden ser producto de tectónica localizada por acción de relajación y/o acomodación del material después de eventos tectónicos. Entre estas se destacan las fallas La Pilonera, Zanjón La Vega y Zanjón de Pardo.

- **Estrías**

En el análisis estructural Vargas, C. 2008, define el predominio de dos direcciones NO-SE que coinciden con los segmentos de fallas principales y E-O coherente con el trazo de fallas menores de la zona; los ángulos de buzamiento de las fallas están comprendidos entre 80 y 90°. De igual manera establece para el campo de fuerzas de deformación un máximo de compresión subhorizontal con orientación aproximada N-S, y un máximo de extensión subhorizontal de orientación aproximada E-O, con valores máximo σ_1 : 345/14, mínimo σ_3 :81/21 e intermedio σ_2 : 225/64.

La interpretación final Vargas, C. 2008 dice que se presenta un tipo de deformación en tectónica frágil, lo que correspondería a un patrón normal transcurrente.

- **Diaclasas**

Vargas, C. 2008 considera que el sistema de fracturamiento de la Mesa de Los Santos presenta una distribución homogénea con respecto a la geometría de la zona. En su análisis obtuvo un predominio en dirección N80-90O que concuerda con la tendencia de las principales fallas cartografiadas en la zona, con ángulo de inclinación predominante de 80-90°. El diagrama rosa de planos de fractura obtenido por Vargas, C. 2008, muestra un sistema de fracturamiento radial distensivo para el área total de estudio, el cual concuerda con el pequeño basculamiento de los bloques en la parte suroeste de la zona.

6.2.4. Bloques estructurales de la Mesa de Los Santos. Vargas, C. 2008 relaciona los datos de fracturas con los tipos de fallas cartografiadas en la zona, dividió la zona en bloques estructurales de acuerdo a características y tipos de fallas identificadas en la zona, obteniendo como resultado cuatro bloques estructurales, distribuidos de la siguiente forma, (figura 12.)

6.2.4.1. Bloque Montes. El bloque Los Montes se encuentra ubicado al norte de la Mesa de Los Santos. El bloque presenta una dirección preferencial N80-90O en el diaclasamiento, el cual corresponde a fracturas sintéticas de las fallas inversas o antitéticas de las fallas normales del bloque, y una segunda dirección muy marcada N10-20O la cual puede ser una dirección sintética de las fallas normales o antitéticas de las fallas inversas del bloque, estas fracturas muestran ángulos de buzamiento muy marcado en 80-90°.

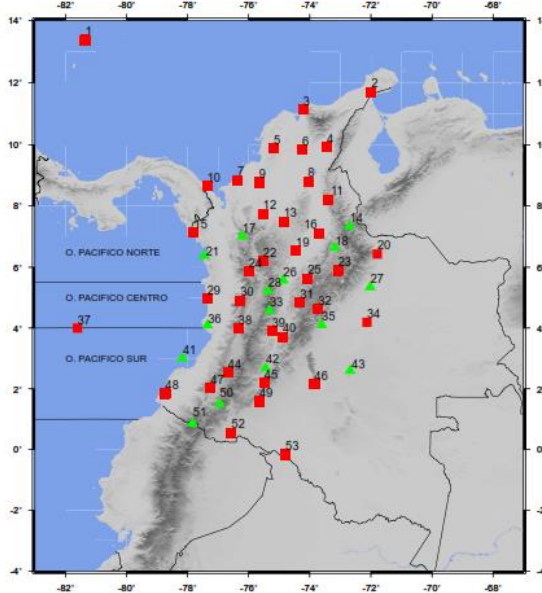
6.2.4.2. Bloque Tabacal: El bloque Tabacal se encuentra ubicado al noreste de la Mesa de Los Santos, muestra una dirección preferencial N70-80O el cual corresponde a fracturas sintéticas de las fallas normales o antitéticas de las fallas inversas del bloque, estas fracturas muestran ángulos de buzamiento muy marcado en 80-90°.

6.3. ASPECTOS SISMOLÓGICOS

La región en general está comprendida en una zona de Baja a Media actividad, considerando la cercanía al Nido Sísmico de Santander. Los diferentes eventos así registrados normalmente se reportan para los municipios de Los Santos, Umpalá, Zapatoca, Santa Helena del Opón, Villanueva, Piedecuesta, San Vicente de Chucurí, El Carmen de Chucurí, Cimitarra, Landázuri y Simacota, todos relacionados con las Fallas de La Salina al oeste y Bucaramanga – Santa Marta al este.

La siguiente Figura 13 presenta la localización de las estaciones de la RSNC. Los triángulos verdes y los cuadros rojos representan las estaciones con sensores de corto periodo y banda ancha respectivamente. Tomada de Boletín de Sismos, noviembre de 2014 Red Sismológica Nacional de Colombia – RSNC – Volumen 22, 11.

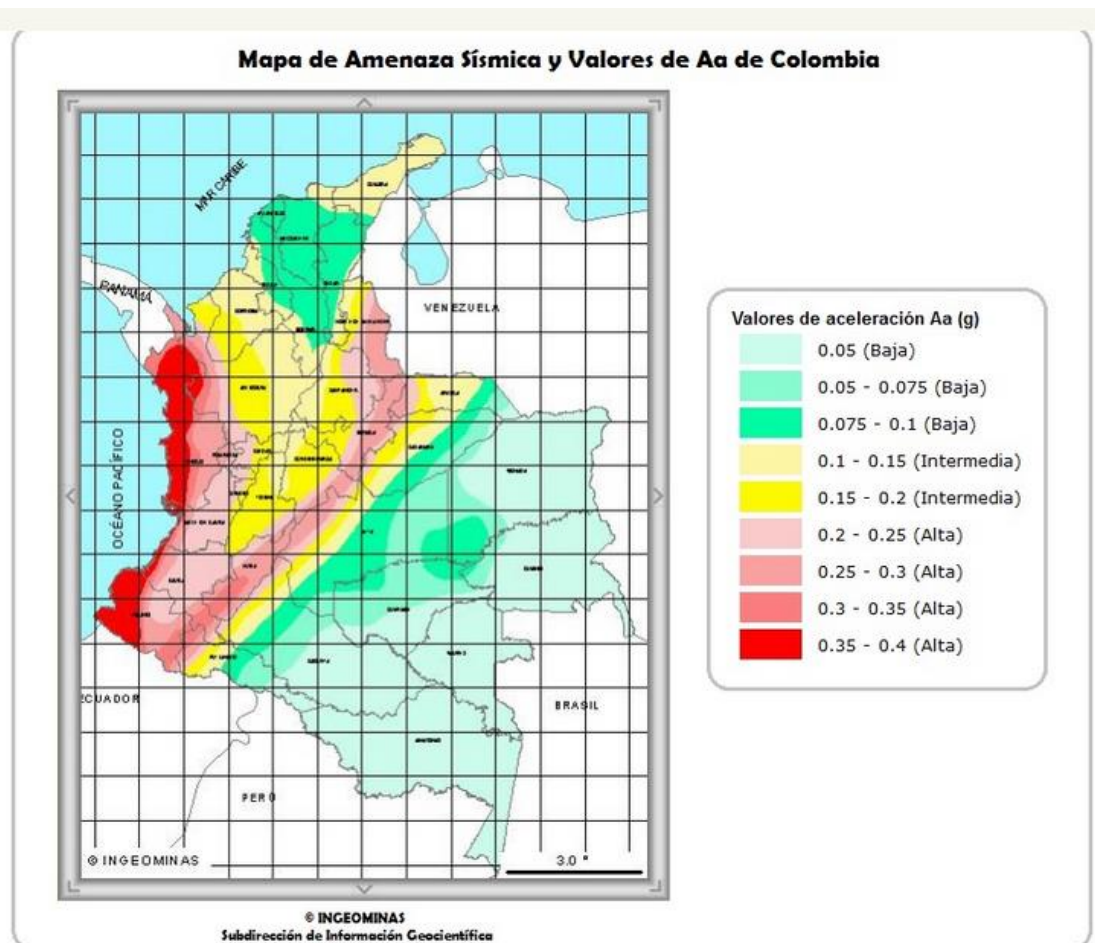
Figura 14. Mapa de Colombia con la localización de las estaciones RSNC



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas, Sector La Mesa.Fase I

La Figura 14 corresponde al Mapa de Amenaza Sísmica con Valores de Aceleración para Colombia. Puede observarse que la zona del proyecto comprende su totalidad en el rango de valor intermedio (0,10 a 0,20), que empieza hacia la parte oriental a incrementarse, pasando al primer valor del rango alto (0,20 a 0,25), quedando retirado del siguiente valor de 0,25 a 0,30, localizado en la parte central de la Cordillera Oriental. Hacia la parte occidental, el primer valor del rango de aceleración alta se encuentra a más de 150 Kms, ubicado hacia el oeste de la Cordillera Central.

Figura 15. Mapa de Amenaza Sísmica y Valores de Aa de Colombia.



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas, Sector La Mesa.Fase I

De las cabeceras municipales, 475, correspondientes aproximadamente al 35% de la población colombiana, se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta; 435, equivalente al 51% de la población, en zonas de amenaza sísmica intermedia; y 151, equivalente al 14% de la población, en zonas de amenaza sísmica baja.

La aceleración pico efectiva (A_a) corresponde a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño contempladas en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98), como porcentaje de la aceleración de la gravedad terrestre ($g = 980 \text{ cm/s}^2$). Estas aceleraciones tienen una probabilidad de ser excedidas del 10% en un lapso de 50 años, correspondiente a la vida útil de una edificación. El valor del parámetro A_a se utiliza para definir las cargas sísmicas de diseño que exige el reglamento de Construcciones Sismo Resistentes.

- **Zona de Amenaza Sísmica Baja:** definida para aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (A_a) de 0,10 g. Aproximadamente el 55% del territorio Colombiano se encuentra incluido en esta zona de amenaza.
- **Zona de Amenaza Sísmica Intermedia:** definida para regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva mayores de 0,10 g y menores o iguales de 0,20 g. Alrededor del 22% del territorio se encuentra incluido en ésta zona.
- **Zona de Amenaza Sísmica Alta:** definida para aquellas regiones donde se esperan temblores muy fuertes con valores de aceleración pico efectivo mayores de 0,20 g. Aproximadamente el 23% del territorio colombiano queda incluido en la zona de amenaza sísmica alta.

A continuación se presenta un extracto de las características correspondientes al Grado de Amenaza y Aceleración A_a para los departamentos colindantes con la zona de influencia (ver Tabla 5). Con base en dicha tabla se puede deducir que el

grado al cual se encuentra expuesta la obra es Media a Baja, donde solamente en el Departamento de Boyacá se tiene Grado Alto, con Aa de 0,30 g. Los demás departamentos relacionados se encuentran con Aa entre 0,10 y 0,20 g.

Tabla 4. Relación de Amenaza y Aceleración departamental.

DEPARTAMENTO	GRADO AMENAZA	ACELERACIÓN Aa, g
Antioquia	MEDIA	0,20
Arauca	MEDIA	0,15
Boyacá	ALTA	0,30
Casanare	MEDIA	0,15
Cesar	BAJA	0,10
Cundinamarca	MEDIA	0,20
Meta	BAJA	0,10
Santander	MEDIA	0,20

Fuente: Modificada de Zonación Sísmica de Colombia, 2014.

6.4. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

El sector analizado se encuentra ubicado en la parte nororiental del municipio de Los Santos, Actualmente se ha constituido en una zona de gran desarrollo, gracias al clima fresco de que disfruta por estar localizada a una altura superior a 1600 msnm. Esta situación ha conllevado una presión sobre el recurso hídrico, tanto superficial como freático y subterráneo motivando a las corporaciones autónomas regionales CAS y CDMB a vigilar y regular dicha presión con el fin de evitar conflictos y a detener un posible deterioro del recurso por la contaminación del mismo en un futuro cerca.

La Mesa de Los Santos es cortada por los ríos Chicamocha al sur y el río Sogamoso al occidente. Al norte está la quebrada los Fríos u Honda. El río Sogamoso se forma al unirse los ríos Chicamocha y Suárez al suroccidente del municipio. Es una formación ondulada que se origina a partir de los 1500 msnm. En la parte aledaña a los ríos mencionados la altura está sobre los 250 msnm. Es decir, en una distancia muy corta la Mesa alcanza elevaciones de más de 1600 msnm. El municipio de Los Santos en cuya jurisdicción se encuentra la Mesa y que comprende, aproximadamente, 10.000 hectáreas hasta la quebrada La Honda, límite con el municipio de Piedecuesta. La evaluación de la oferta hídrica, consiste en determinar los balances hídricos, de condiciones medias, con base en información hidrometeorológica para la humedad del suelo y el balance hidrológico superficial para el cálculo de la escurrimiento.

6.4.1. Análisis Climático. Para el análisis climático de La Mesa de Los Santos se tomó la información meteorológica suministrada por el IDEAM, de las estaciones allí ubicadas, como de las más cercanas a su área de influencia. En la Tabla 5 están las estaciones analizadas. En el caso de la temperatura se aplicó un gradiente cercano al de la atmósfera estándar para reducir los valores a la elevación de la Mesa. Para el caso de la precipitación se tuvo en consideración un gradiente de disminución entre la parte norte y el sector sur de La Mesa, de acuerdo con el comportamiento de las lluvias en las estaciones Granja Piedecuesta y la Mesa.

Tabla 5. Estaciones del IDEAM en el área de estudio.

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	COORDENADAS			DATOS ANALIZADOS
			LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	
La Mesa	2406005	PM	06° 46'	73° 06'	1460	Precipitación (P)
Aeropuerto Palonegro	2319513	SP	07° 08'	73° 11'	1189	Precipitación (P), Temperatura (T) media, Humedad relativa (HR), Brillo Solar (BS); Velocidad media del viento, Evaporación.
Piedecuesta	2319070	PG	07° 00'	73° 05'	1000	Precipitación (P)
Curití 2	2402013	PM	6° 37'	73° 04'	1626	Precipitación (P)
Palogordo	2319028	PM	6° 58'	73° 08'	855	Precipitación (P)
El Tope	2403033	PM	6° 56'	72° 56'	2050	Precipitación (P)
Zapatoca	2405503	CO	6° 49'	73° 17'	18110	Humedad relativa (HR), Brillo Solar (BS), Evaporación (EV).

Fuente de datos: Informe Fase I Plan de Manejo de aguas subterráneas

ABREVIATURAS:

PM, Estación Pluviométrica. SP, Estación Sinóptica Principal. PG, estación Pluviográfica. CO Estación climatológica ordinaria.

6.4.3 Definición de clima. El clima de una región, se puede denominar al conjunto y frecuencia de las condiciones del estado del tiempo con sus variaciones estacionales. Entendiendo por estado del tiempo, el estado de la capa inferior de la atmósfera en un punto geográfico y en un momento dado, caracterizado por los valores de los elementos meteorológicos, que son sentidos por la gente, entre ellos: temperatura del aire, dirección y velocidad del viento, cantidad y forma de las nubes, cantidad y forma de la precipitación, la presión atmosférica, humedad del aire, estado del suelo, brillo solar, etc. Entre ellos sobresalen la precipitación y la temperatura, por cuanto permiten clasificar y zonificar el clima para un territorio dado.

Los factores asociados al relieve, como la altitud sobre el nivel del mar, formas del relieve y su orientación pueden generar variaciones del clima localmente, mientras que la cobertura vegetal es causa y efecto del clima que sirve además como clasificación del mismo.

Desde el punto de vista físico biótico el clima es determinante en la evolución de los suelos y paisaje. Además da el grado de amenaza natural que pueda tener una región y desde el punto de vista socio económico induce a tomar las decisiones sobre el uso de la tierra.

6.4.4 Distribución espacial y temporal de la precipitación. Tres factores determinan principalmente el régimen de la precipitación, según la escala de afectación o influencia. El primero de carácter global o de macroclima, un segundo de carácter regional y el tercero del orden local o de microclima.

El primer factor se origina o tiene que ver con la circulación general de la atmósfera en los trópicos que da lugar a la llamada Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La convergencia se produce en gran escala, cuando los vientos alisios de los dos hemisferios se encuentran en una estrecha zona. En general, los alisios de los dos hemisferios están separados por una ancha banda de calmas ecuatoriales, pero en ciertas regiones los alisios del nordeste y del sudeste circulan próximos unos a otros.

La ZCIT se caracteriza por un mal estado del tiempo que se manifiesta en una gran superficie. El desarrollo vertical de las nubes se extiende a todo el espesor de la troposfera en los trópicos alcanzando altitudes de 17 Kms o más. La base de las nubes puede descender a algunas centenas de metros, e incluso a nivel de la superficie del suelo. En general, se producen fuertes lluvias, tormentas y vientos locales de alguna magnitud.

Durante el mes de enero la ZCIT se encuentra en su posición más meridional. Durante el mes de abril se halla sobre el centro del territorio nacional avanzando hacia el norte, de tal suerte que el área comienza a sentir los efectos del primer período lluvioso del año, extendiéndose durante el mes de mayo y parte del mes de junio.

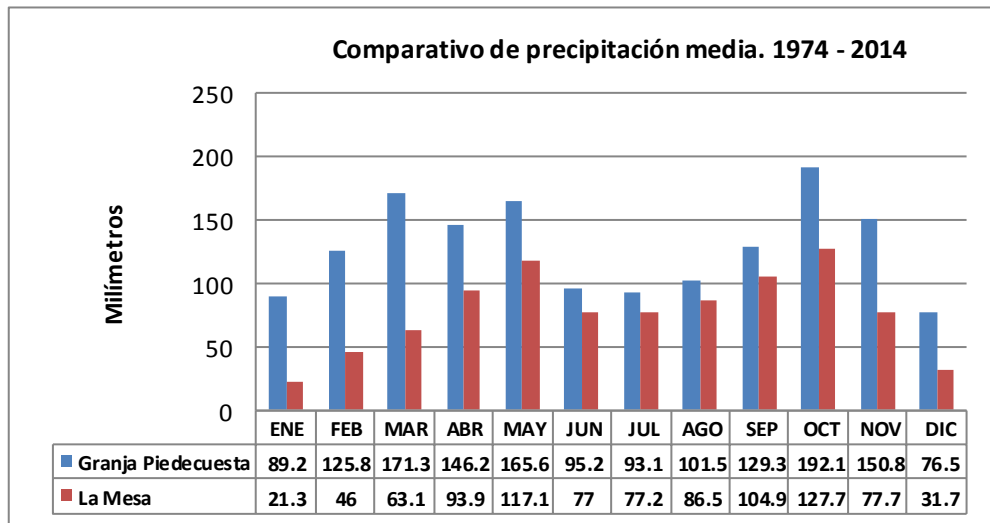
Durante el mes de julio y agosto la zona de convergencia se localiza en su posición más septentrional, avanzando nuevamente, a partir de esos meses, hacia el sur, originando un segundo período de lluvias sobre el territorio en estudio durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. De esta manera, se originan dos períodos de lluvia con uno seco intermedio durante los meses de julio y agosto y un segundo más seco que el anterior, durante los meses de diciembre, enero, febrero y parte de marzo. Las condiciones anotadas corresponden a unos valores medios históricos que pueden ser alterados por comportamientos muy particulares durante el desarrollo de los eventos cálidos o fríos sobre el océano Pacífico que dan origen a los fenómenos climáticos conocidos como El Niño y La Niña, respectivamente.

Un segundo factor de tipo regional obedece a la circulación de vientos regionales en interacción con el carácter montañoso del relieve, dando lugar a la circulación valle montaña, que transporta humedad desde el Medio Magdalena descargándola sobre el flanco occidental de la cordillera Oriental. Sin embargo, los mayores valores de precipitación se obtienen hacia los 2000 m.s.n.m. siendo inferiores entre los 1000 m y la anterior elevación. Esta disminución obedece al carácter orográfico de la precipitación que hace que toda la humedad sea descargada a medida que la nubosidad es obligada a ascender a lo largo del flanco cordillerano occidental en cuyas inmediaciones se encuentra el área analizada.

El tercer factor, de origen local es causado por el carácter particular del relieve, en especial la orientación de los valles y vertientes que generan precipitaciones muy localizadas o sectorizadas.

De esta manera, a nivel espacial, tenemos un régimen muy típico del carácter orográfico de la precipitación asociado a la variación interanual de la Zona de Convergencia Intertropical. Un valor de 1536.6 mm anuales en el municipio de Piedecuesta y de 924.1 mm anuales cerca del municipio de Los Santos, según promedios registrados por el IDEAM de 1970 (1973) a 2014. De esta manera, se tiene una reducción de 612.5 mm en dirección Norte Sur. Teniendo en cuenta la distancia entre Piedecuesta y Los Santos, en línea recta, de 24 Km, da un gradiente de disminución de 25.5 mm/km.

Figura 17. Precipitación media en las Estaciones de Piedecuesta y Los Santos.

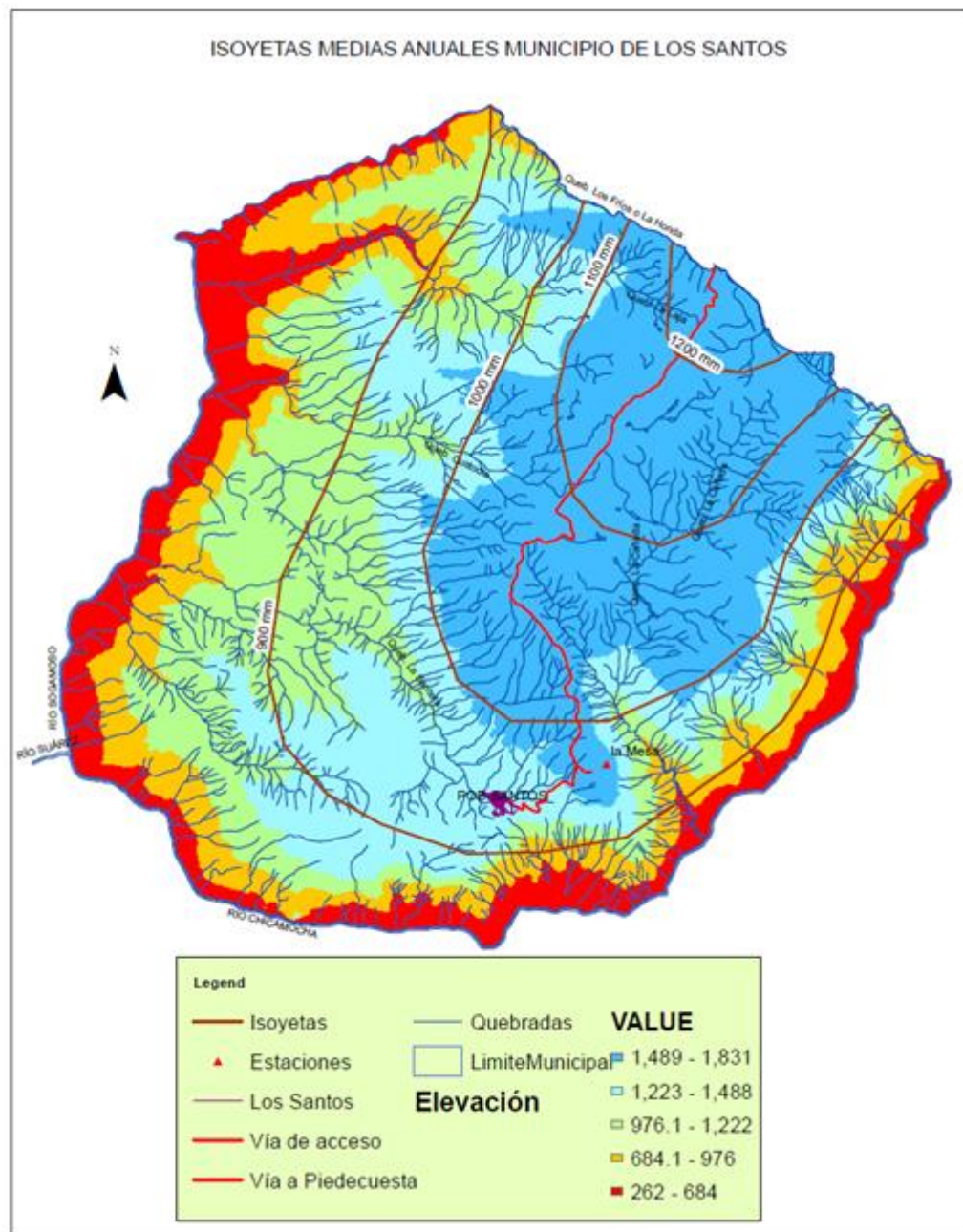


Fuente: IDEAM.

Para Piedecuesta el régimen es más marcado en el primer semestre con precipitaciones altas desde el mes de febrero y hasta mayo. En el segundo

semestre la precipitación aumenta de septiembre a noviembre. Diciembre es el mes más seco. En la estación la Mesa las lluvias se van incrementando de enero hasta mayo, disminuyen, al igual que en Piedecuesta de junio a agosto y aumentan en los meses de septiembre y octubre. Enero es el mes más seco en la estación la Mesa. Hay una situación muy particular de junio a septiembre y es que para esos meses la diferencia entre los dos registros es menor, debido a la influencia de las corrientes del sur que traen humedad hasta la Mesa como se puede ver en los registros de la estación Curití 2 con un régimen monomodal de la precipitación, Figura 17.

Figura 18. Isoyetas medias anuales municipio de Los Santos, en milímetros.
Fuente: presente trabajo.

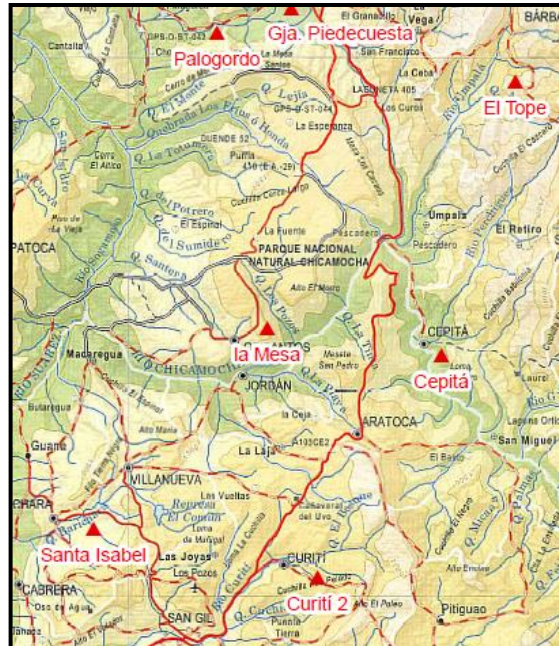


Fuente: Fase I

En la Figura 18 están dibujadas las isoyetas medias anuales para Los Santos y en especial para la zona de la Mesa, trazadas con base en los datos de las

estaciones localizadas en este municipio y las de su área de influencia, relacionadas en la Tabla 1. La precipitación oscila entre los 900 y los 1200 mm

Figura 19. Localización de estaciones meteorológicas del área de influencia de Los Santos.



La precipitación oscila entre los 900 y los 1200 mm. El área aledaña al cañón del Chicamocha es la más seca con una precipitación media anual por debajo de los 1000 mm. En el límite con Piedecuesta sube a los 1200 mm, favoreciendo la escorrentía de quebradas como la Cañada y con el beneficio adicional de que la escorrentía toma dirección sur, es decir, hacia la zona de más baja pluviosidad. En la estación pluviométrica de La Mesa la precipitación media anual registrada por el IDEAM es de 924.1 mm, correspondiente al período 1974 – 2014.

6.4.5 Temperatura media mensual. Con base en la temperatura media mensual medida en las estaciones cercanas a La Mesa y de otras estaciones de su área de influencia, se deducirá la temperatura, de acuerdo con la correlación anual de la

6.4.6 Otros parámetros climáticos. Además de la precipitación y la temperatura existen otros elementos atmosféricos que permiten caracterizar mejor el clima y a la vez servirnos para deducir algunas de sus particularidades en la región, entre ellos están: la humedad relativa, el brillo solar, la evaporación, recorrido del viento y su dirección y velocidad. Estos parámetros se miden en la estación meteorológica donde se emplazan los instrumentos respectivos, Figura 20. Dado que en el área no existen mediciones directas se hace apoyo en la estación de referencia del Aeropuerto de Palonegro para la descripción de estos elementos del clima.

Figura 21. Emplazamiento de instrumentos en una estación meteorológica.



Fuente: IDEAM, Atlas Climático.

- **Humedad Relativa**

Según los registros del Aeropuerto Palonegro la humedad relativa media oscila entre 80 y 90 %, valores que se pueden considerar altos para este elemento meteorológico.

- **Insolación o brillo solar**

El brillo solar depende mucho de la orientación y grado de exposición a los rayos solares de un sitio en particular. No es lo mismo el brillo solar en un área plana y despejada que en otro con alta afectación orográfica y cubierta de vegetación. En nuestro caso la estación de apoyo se localiza en un sitio alto y ventilado en condiciones similares a la Mesa de los Santos. Para la estación Aeropuerto Palonegro, se observa que en el año, el total de horas con sol o brillo solar es de 1926.6 horas para un promedio de 5.3 horas por día, siendo enero el mes con mayor número de horas de sol de 212.7 y abril el más bajo con 135.8 horas mensuales para 6.9 horas por día y 4.5 horas por día, respectivamente. Esta situación coincide con los meses más secos y más húmedos, como era de esperarse.

- **Evaporación**

La evaporación, medida en el tanque clase A, es la tasa de transferencia de agua a la atmósfera bajo la influencia de los diferentes elementos meteorológicos. La medida de la evaporación es un factor importante para compararla con los cálculos de evapotranspiración potencial deducida a partir de fórmulas teóricas dentro del cálculo del balance hídrico de una región.

- **Recorrido del viento**

Es medido por medio del anemómetro a 2 m de altura. Da una idea de la velocidad media del viento pero sin especificarnos su dirección. La unidad de medida es en kilómetros por día o por mes. En la Tabla 6 se especifican los valores medios de los elementos enumerados anteriormente y tomados de la estación Aeropuerto Palonegro de Lebrija, localizada a 1190 msnm.

Tabla 6. Valores medios mensuales de elementos meteorológicos registrados en la estación del Aeropuerto Palonegro.

	Ene	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
Humedad Relativa, %	83,0	82,0	83,0	86,0	87,0	86,0	84,0	83,0	85,0	87,0	89,0	87,0	85,2
Brillo solar, Horas	212,7	166,6	147,4	135,8	150,3	144,3	169,2	160,7	153,5	153,9	149,6	182,5	1.926,5
Recorrido del Viento, Kms.	7.048	6.483	6.286	5.714	5.428	5.137	5.513	5.677	5.742	5.872	5.590	5.846	70.336
Evaporación Tanque, mm	136,9	128,2	135,3	119,0	123,7	111,0	125,1	126,1	125,4	120,5	118,2	115,6	1.485,0

Fuente: IDEAM.

Como comparación se dan los valores medios de la estación Zapatoca, localizada en la misma latitud de La Mesa pero a 1800 msnm.

Las diferencias son mínimas en cuanto al brillo solar y son más notorias en el valor de la evaporación, lo cual es aceptable dado que a 1800 m de altitud corresponde una temperatura menor. Esto da una medida del valor a esperar a la altura de la Mesa de los Santos. Teniendo en cuenta la diferencia de altura entre el Aeropuerto Palonegro y Zapatoca da una variación media diaria de 0.52 mm/m por cambio en altitud, es decir, una evaporación media anual de 1240 mm para la Mesa.

Tabla 7. Valores medios mensuales de elementos meteorológicos registrados en la estación Zapatoca.

	Ene	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
Humedad Relativa, %	87,0	85,0	86,0	87,0	88,0	88,0	87,0	87,0	88,0	89,0	88,0	88,0	87,3
Brillo solar, Horas	193,9	168,6	157,6	132,2	140,9	109,5	163,7	178,7	163,6	145,5	143,5	178,6	1.876,3
Evaporación Tanque, mm	96,2	97,3	101,2	94,4	102,7	98,7	103,7	104,7	101,2	91,5	82,8	87,6	1.162,0

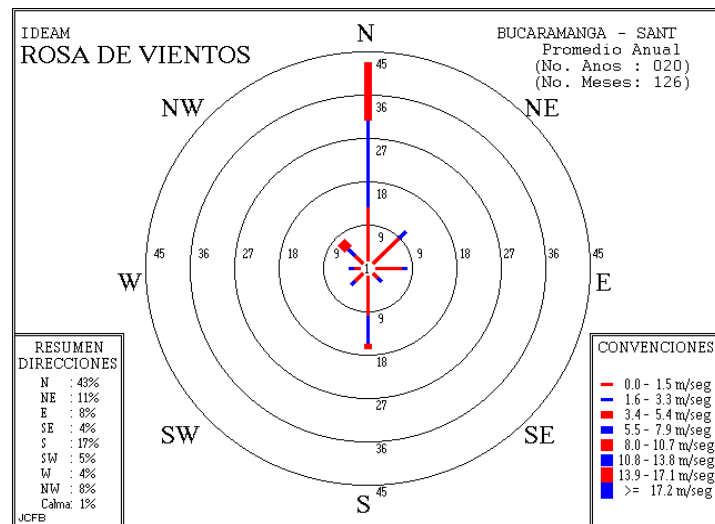
Fuente: IDEAM.

- **Dirección y velocidad del viento**

En la zona no se tienen registros directos de vientos. Sin embargo, a partir de análisis de registros en otras áreas del departamento se tiene una visión global del

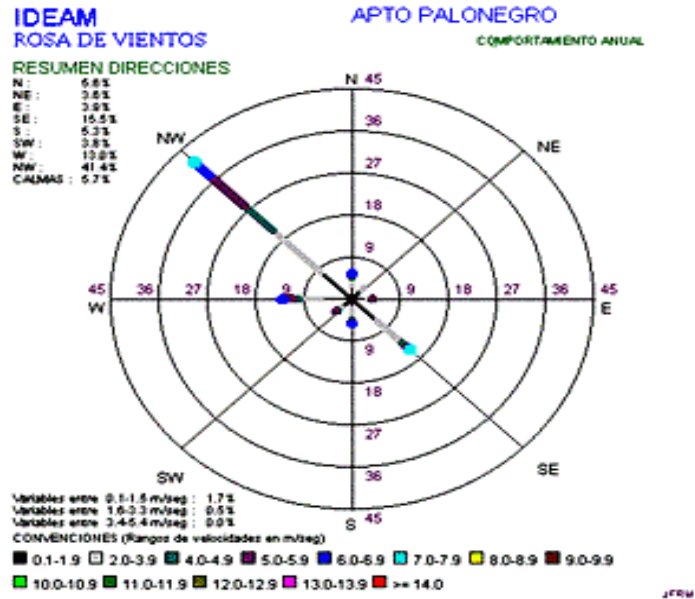
comportamiento del régimen de vientos, en la parte del flanco occidental de la Cordillera Oriental. Con base en las rosas de vientos para Bucaramanga (IDEAM, página de internet) y Aeropuerto Palonegro, se observan, en el primero, vientos de dirección norte con un 43% del promedio anual, seguidos de la dirección sur con un 17.5%, la noreste con un 11% y la noroeste con un 8%. Las mayores velocidades están en la dirección noroeste con un rango entre 10.8 a 13.8 m/s, seguida de la norte con un rango entre 8.0 y 10.7 m/s. En el Aeropuerto Palonegro la dirección predominante es la noroeste con un 41.4% seguida de la sureste con un 15.5%. En estas dos direcciones también están las mayores velocidades observadas. Estos registros están influidos por la ubicación zonal con respecto a la cordillera y por el sistema de circulación valle montaña que se establece significativamente entre las 11 de la mañana y las 18 horas, cuando los vientos cálidos del valle se elevan intercambiándose con los vientos fríos de la cordillera, transportando hacia esta grandes cantidades de humedad que es precipitada a una altura cercana a los 2000 msnm, donde se presenta un segundo máximo de precipitación, después del observado en la zona plana del departamento de Santander, Figuras 21 y 22.

Figura 22. Rosa de los vientos estación UIS



Fuente: IDEAM.

Figura 23. Rosa de los vientos del Aeropuerto Palonegro



Fuente: IDEAM.

- **Evapotranspiración potencial**

La evapotranspiración potencial se define como las pérdidas máximas de agua que puede tener un suelo cubierto de vegetación, si tuviera en todo momento la humedad suficiente para suplir esta demanda. Se calcula mediante fórmulas que involucran los diferentes elementos meteorológicos. Entre ellas se destaca la de Penman - Monteith que ha sido recomendada por la FAO y se encuentra involucrada dentro del programa ETo-calculator. Para el cálculo de la evapotranspiración real se utiliza la fórmula de Turc basada en valores medios anuales de precipitación y temperatura. Los valores medios ajustados para La Mesa se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores meteorológicos medios ajustados para el cálculo de la evapotranspiración potencial en la Mesa.

MES	Temperatura Media	Humedad Relativa	Viento Recorrido	Brillo Solar	Evapotranspiración Potencial	ETP Mensual
		%	Km/día	Horas/día	mm/día	mm
Enero	18,7	83	250,13	6,86	3,2	99,2
Febrero	19,0	82	254,71	5,95	3,3	92,4
Marzo	19,1	83	223,08	4,75	3,1	96,1
Abril	18,9	86	209,52	4,53	3,0	90,0
Mayo	18,9	87	192,59	4,85	2,9	89,9
Junio	18,8	86	188,44	4,81	2,9	87,0
Julio	18,8	84	195,61	5,46	3,1	96,1
Agosto	19,0	83	201,40	5,18	3,2	99,2
Septiembre	18,7	85	210,47	5,12	3,1	93,0
Octubre	18,3	87	208,40	4,96	2,9	89,9
Noviembre	18,2	89	205,03	4,99	2,6	78,0
Diciembre	18,3	87	207,36	5,89	2,8	86,8
Medios	18,7	85,2	212,23	5,28	2,8	91,5
Anual						1.097,6

Para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR) aplicaremos las fórmulas utilizadas en la publicación del IDEAM ENA 2010, a saber, la fórmula de Turc y la fórmula de Budyko las cuales tienen las siguientes expresiones:

$ETR = \frac{P}{\sqrt{(0.9 + P^2/L^2)}}$, fórmula de Turc, donde $L = 300 + 25T + 0.05T^3$; T, temperatura media anual y P, precipitación media anual.

$ETR = \{ [ETP * P * \tanh(\frac{P}{ETP})] * [1 - \cosh(\frac{ETP}{P}) + \sinh(\frac{ETP}{P})] \}^{1/2}$, fórmula de Budyko. P y ETP precipitación media y evapotranspiración potencial media, respectivamente, en mm.

Calculando, con una temperatura media de 19 °C y una precipitación de 1100 mm se obtiene ETR igual a 804.8 mm para la fórmula de Turc, mientras que la de Budyko da 762.4 mm, con la ETP deducida por el programa ETo-cal.

Otro método de verificación de los cálculos de la evapotranspiración potencial es su relación con el valor de la evaporación medida con el tanque tipo A. De acuerdo con las mediciones realizadas en diferentes partes del mundo, se ha encontrado una relación de 0.6 a 0.8 (coeficiente de embalse) entre la evaporación medida y la real. Por otra parte, teniendo en cuenta que la evaporación estimada para la Mesa es de 1240 mm anuales, se obtendría un valor de 992 mm para la ETP aplicando un coeficiente de embalse de 0.8. Esto genera una diferencia de 105.6 mm con respecto a la evapotranspiración potencial calculada con la fórmula de Penman - Monteith a través del programa ETo-cal. No obstante, es más coherente si la comparamos con la evapotranspiración real calculada mediante la fórmula de Turc o de Budyko.

Tabla 9. Identificación de Factor de Humedad.

Factor de Humedad (Fh)	Característica
Fh < -40	Árido
-40 < Fh < -20	Semiárido
-20 < +20	Seco
20 < Fh < 60	Adecuado
60 < Fh < 80	Semi húmedo
80 < Fh < 100	Moderadamente Húmedo
100 < Fh < 150	Húmedo
Fh > 150	Súper Húmedo

Tabla 10. Balance hídrico del suelo para condiciones medias y ETP 992 mm.

BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO DE LA CAPA SUPERFICIAL DEL SUELO
Suelo Franco Arcilloso. Capacidad de almacenamiento: 114 mm

PARA CONDICIONES CLIMÁTICAS PROMEDIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Precipitación media La Mesa, mm	25,4	54,8	75,1	111,8	139,4	91,6	92,0	102,9	124,8	152,0	92,5	37,7	1.100,0
ETP La Mesa, mm	89,7	83,5	86,9	81,3	81,3	78,6	86,9	89,7	84,1	81,3	70,5	78,4	992,0
Pérdidas de almacenamiento en el suelo, mm	41,3	8,1	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,7	92,6
Almacenamiento del suelo, mm (inicial cero)	32,0	23,9	21,4	51,9	110,0	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	73,3	996,5
ETR la Mesa, mm	66,7	62,9	77,6	81,3	81,3	78,6	86,9	89,7	84,1	81,3	70,5	78,4	939,3
Déficits, mm	23,0	20,6	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,9
Excesos, mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	5,1	13,2	40,7	70,7	22,0	0,0	160,7
R=ETR/ETP	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	

Tabla 11. Balance hídrico del suelo para condiciones medias y ETP 1097.6 mm.

BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO DE LA CAPA SUPERFICIAL DEL SUELO
Suelo Franco Arcilloso. Capacidad de almacenamiento: 114 mm

PARA CONDICIONES CLIMÁTICAS MEDIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Precipitación media La Mesa, mm	25,4	54,8	75,1	111,8	139,4	91,6	92,0	102,9	124,8	152,0	92,5	37,7	1.100,0
ETP La Mesa, mm	99,2	92,4	96,1	90,0	89,9	87,0	96,1	99,2	93,0	89,9	78,0	86,8	1097,6
Pérdidas de almacenamiento en el suelo, mm	42,0	7,6	2,8	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	49,1	104,7
Almacenamiento del suelo, mm	22,9	15,3	12,5	34,3	83,8	88,4	85,2	88,9	114,0	114,0	114,0	64,9	838,2
ETR la Mesa, mm	67,4	62,4	77,9	90,0	89,9	87,0	95,2	99,2	93,0	89,9	78,0	86,8	1016,7
Déficits, mm	31,8	30,0	18,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,9
Excesos, mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	62,1	14,5	0,0	83,2
R=ETR/ETP	0,7	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	---

El factor de humedad Fh es igual a 3.2 indicativo de un clima seco, según Thornthwaite.

Se observa que al cambiar el valor de ETP a 1097.6 disminuyen los excesos, como era de esperar. El déficit se incrementa pero en menor proporción. Esto se debe a que la capacidad de almacenamiento del suelo se mantiene sin modificar. El Fh se reduce a 3.2 pero se mantiene dentro del rango de clima seco.

6.5. DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL MEDIA PARA LA MESA. QUEBRADA LA CAÑADA

Escorrentía es la porción de lluvia que después de haber sido precipitada, alcanza los cauces de los ríos y escurre a través de ellos. Es decir, la porción que no es interceptada por la cobertura vegetal ni evapotranspirada por el sistema suelo-vegetación, ni infiltrada al interior del suelo.

Además de poder conocer la probable proporción de escorrentía, puede ser necesario saber la cantidad total que pueda provenir de una cuenca. La

escorrentía anual se denomina rendimiento de una cuenca o volumen total de agua, aunque es posible que sea de más valor conocer los datos de períodos más breves, como el caudal mensual, o la cantidad de agua procedente de tormentas individuales. La utilidad del agua para el riego o consumo doméstico no solo depende de la cantidad total, sino también del momento en que está disponible y de la confianza que se puede tener en su suministro. El dato del caudal medio podría dar una idea errónea si no se conoce la variación probable a cualquiera de los lados de la media y el caudal mínimo probable. Las estimaciones de la disponibilidad de agua dependen, por consiguiente, de que se disponga de registros de las precipitaciones y del caudal de la corriente, y cuantos más largos y confiables sean los registros, más exacto será el cálculo basado en ellos.

Los métodos de cálculo de la cantidad total de agua son muy distintos en climas áridos y en climas húmedos. En climas húmedos, la capa de agua está bastante cerca de la superficie la mayor parte del tiempo y por encima del lecho de las corrientes. En consecuencia, se producen constantes filtraciones de la capa freática a las corrientes, además de la escorrentía directa procedente de las lluvias. No es posible cuantificar el agua de una corriente que procede de filtraciones y cuanta procede del caudal de una tormenta, por lo que el caudal total no se puede correlacionar con los registros de las precipitaciones; la única forma de predecir la cantidad total de agua de escorrentía es la de disponer de registros históricos de caudal. En las regiones áridas no existen depósitos de aguas freáticas de modo que tampoco hay filtraciones. El rendimiento de escorrentía está constituido, por lo tanto, íntegramente por la escorrentía de las tormentas y se puede calcular a partir de los registros de las precipitaciones.

La ecuación fundamental en hidrología dice que: $E - S = \Delta S / \Delta t$. Es decir; las entradas menos las salidas es igual al cambio en el almacenamiento en un período dado de tiempo y para un volumen de control especificado.

En forma general el balance de cualquier cuerpo de agua o cuenca para cualquier lapso de tiempo (Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur, Unesco, 1982) es: $P + Q_{sl} + Q_{ul} - E - ET - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S - \eta = 0$, siendo:

P – Precipitación, Q_{sl} – entrada de agua superficial a la cuenca o cuerpo de agua, Q_{ul} – Entrada de agua subterránea a la cuenca o cuerpo de agua, E – Evaporación, ET – Evapotranspiración, Q_{so} – Salida de agua superficial, Q_{uo} – Salida de agua subterránea, ΔS – Variación del almacenamiento de agua en la cuenca y η – Término residual de discrepancia, error de medición o estimación.

Para cálculos en áreas extensas y períodos largos de tiempo, la misma publicación, recomienda utilizar la ecuación simplificada: $\bar{P} - \bar{Q} - \bar{ET} - \eta = 0$; donde: \bar{P} - Precipitación media del período en el área, \bar{Q} - Caudal medio del período del área, \bar{ET} - Evapotranspiración media del período y del área y η – término de discrepancia

Para el caso de \bar{P} se tomó el período 1974 a 2014 y para \bar{ET} los valores determinados para el balance hídrico del suelo igual a 992 mm. De esta manera obtenemos que $\bar{Q} = \bar{P} - \bar{ET} - \eta$, o $\bar{Q} = 108$ mm anuales, con $\eta=0$. Pasando a rendimiento medio anual para la Mesa se obtiene 0.034 l/s/ha o 3.424 l/s/km². Teniendo en cuenta unas 10000 has de la Mesa, hasta la quebrada La Honda, daría un caudal, a la salida de la Mesa, de 342.4 l/s de caudal medio. En la Mesa, la corriente más significativa del municipio de Los Santos, es la quebrada La Cañada, y esta sería el receptor principal de este caudal estimado. Para cualquier otra corriente el módulo de esorrentía sería el anotado de 0.034 l/s/ha.

6.6. CONDICIONES HIDRÁULICAS DE POZOS

La explotación de aguas freáticas y subterráneas confinadas se ha venido dando en el área de La Mesa por cuanto la demanda ha aumentado y la disponibilidad de agua superficial, como se ha analizado, es insuficiente dadas las características climáticas de la región. Determinar el volumen y la velocidad de las aguas subterráneas es un problema difícil de resolver por cuanto dependen del conocimiento que se tenga de las condiciones geológicas del lugar.

Conocer las leyes del movimiento de las aguas subterráneas en el espacio y en el tiempo exige saber el carácter de la porosidad del suelo, las propiedades del fluido y tanto la estructura como los límites de la formación. Para cuantificar su volumen y la naturaleza de su movimiento es necesario saber, en buena medida, la geología de la formación que contiene estas aguas.

6.6.1. Relación entre aguas superficiales y aguas subterráneas. Normalmente, se utilizan tanto aguas superficiales como aguas subterráneas pero debemos entender que estas se hallan bien relacionadas. La disminución de una de ellas repercute inmediatamente en la otra, por ello es necesario conocer su relación en un contexto regional que permita hacer un uso racional del recurso para evitar una posible extinción del mismo. Otro problema tiene que ver con la contaminación de acuíferos, bien sean freáticos o confinados, que puede llevar a la no utilización definitiva de estas aguas.

6.6.2. Distribución de las aguas subterráneas en la vertical. Las aguas subterráneas se encuentran distribuidas en dos capas principales: una zona aireada y una segunda saturada. En esta última todos los poros del suelo se encuentran saturados y se encuentra bajo presión hidrostática. En la zona aireada los poros del suelo se encuentran, unos con aire y otros con agua. La zona de

saturación también se llama zona de aguas subterráneas. La zona aireada se puede dividir en varias subcapas.

Capa superficial. Incluye la zona ocupada por las raíces de las plantas. La potencialidad de esta zona no es constante y depende del tipo de suelo y clase de vegetación. Excluyendo el período de infiltración rápida después de una lluvia, esta capa no se encuentra saturada. Aquí el agua puede encontrarse en forma higroscópica, en forma capilar y en forma gravitacional.

Zona Intermedia. Se extiende desde la capa superficial hasta el límite superior de las aguas capilares. Puede extenderse desde cero hasta cientos de metros en profundidad. Esta zona es un enlace entre la capa superficial y la capa de ascenso de las aguas capilares provenientes del espejo de agua subterránea.

Zona Capilar. Va desde el espejo de agua subterránea hasta el límite de las aguas capilares y depende de la estructura del suelo de cada región.

Zona saturada. Los poros del suelo se encuentran totalmente saturados y por eso la porosidad es una medida también del volumen de agua acumulado.

Cualquier causa que modifique la presión sobre las aguas subterráneas puede cambiar su nivel. Los cambios estacionales en las aguas superficiales por infiltración de agua lluvia, la evaporación y transpiración de la vegetación, cambios en la presión atmosférica, las cargas en superficie, saturación del acuífero, sismos, etc., pueden cambiar el nivel del espejo de agua o del nivel piezométrico dependiendo de si la capa intermedia está libre o limitada.

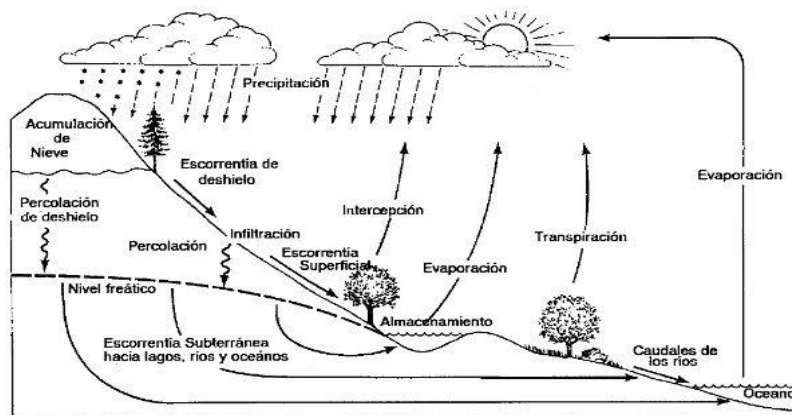
6.7 MODELO CONCEPTUAL

Con base en la siguiente proceso, representado en la figura 23, se puede entender con claridad el comportamiento que se presenta dentro del llamado Ciclo Hídrico, donde aparecen las diferentes etapas que hacen parte de él, y especialmente referenciar los lugares en donde se sucede cada uno de los eventos.

Dentro de los más importantes se tienen la denominada recarga, que es la base de la potencial presencia de agua en una región, la que normalmente se asocia con la precipitación. A partir de ella se presentas las fases de infiltración, escorrentía superficial (Flujo superficial) y almacenamiento.

Dentro de la fase de escorrentía superficial se da el proceso de formación de las corrientes hídricas como cañadas, quebradas y ríos, que finalmente terminan en los océanos, en la medida que van uniéndose varios drenajes, donde uno de ellos capta todas las aguas para descargarlas allí. Dependiendo del tipo de suelo, acompañado de condiciones topográficas por donde circulan, pueden presentarse los fenómenos de infiltración, resurgencia, manantial, etc.

Figura 24. Ciclo hidrogeológico generalizado



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas, Sector La Mesa. Fase I

La infiltración está controlada principalmente por las características de la roca con determinado perfil del suelo, que se basan en porosidad y permeabilidad, dependiendo de ellas el agua superficial encuentra o no condiciones apropiadas para infiltrar y poder descender dentro de los cuerpos rocosos. En la medida que exista fracturamiento, diaclasamiento o algún tipo de control estructural, las aguas siguen una determinada dirección que pueden llevarlas a volver a superficie o abastecer las aguas subterráneas.

Con lo anterior también se controla el denominado Nivel Freático, el cual define la posibilidad que el agua de infiltración tome diferentes recorridos y pueda salir de nuevo a superficie de diferentes maneras, tales como manantiales, nacederos, o inclusive entrar a hacer parte de las aguas superficiales.

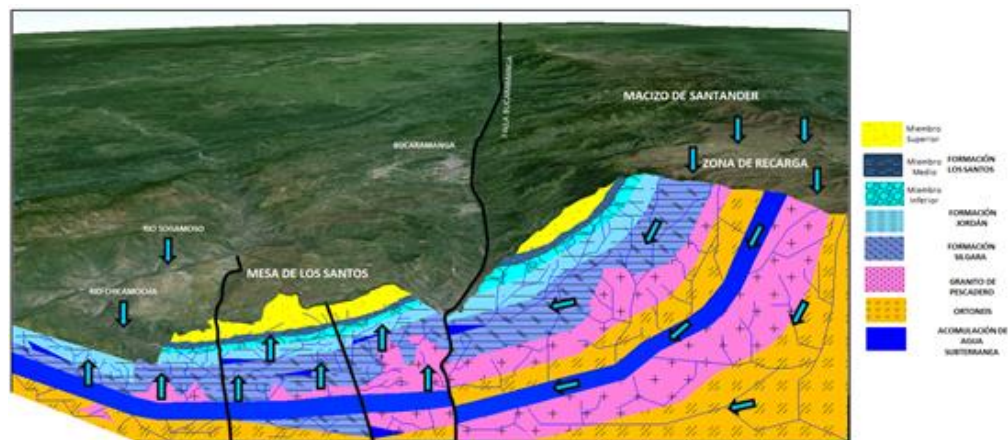
El manantial, nacedero o cualquier otra forma de aparición de aguas en superficie es el producto de la salida por efecto de equilibrio de presiones entre la subterránea y la presión atmosférica, y por encontrar condiciones ideales de porosidad y/o fracturamiento que facilita el recorrido hacia superficie.

Las condiciones intrínsecas de las rocas y por ende del suelo, hacen posible la retención temporal de aguas superficiales en los denominados lagos, aljibes, que dependiendo de la recarga y descarga que exista regional y localmente hagan que se mantengan los niveles de dichos cuerpos.

La capacidad de aforo de los “lagos o jagüeyes” se ha dado principalmente por efecto de aguas lluvias, que se almacenan y retienen por las condiciones intrínsecas de la zona. La información dada por los propietarios y/o residentes de la zona indica la mayor parte de ellos son artificiales y por ende el real término a utilizar debe ser el de jagüey.

La siguiente figura 24 permite visualizar el comportamiento que tiene las denominadas aguas superficiales en su recorrido, lo cual hace que éste tipo de flujo al encontrar zonas de baja presión pueda aflorar en superficie, permitiendo o el abastecimiento de cuerpos lenticos o incrementar el caudal de los loticos.

Figura 25. Diagrama del posible comportamiento del agua subterránea en el Sector la Mesa, municipio de los Santos. Fuente: Presente estudio.



Lo anteriormente descrito explica también el porqué de la presencia de niveles acuíferos a determinadas profundidades puntuales con respecto a cada Sondeo Eléctrico Vertical y las Tomografías, y posteriormente a la interpretación regional de los mismos, la definición de un nivel acuífero a una profundidad mayor que la manifestada de manera individual.

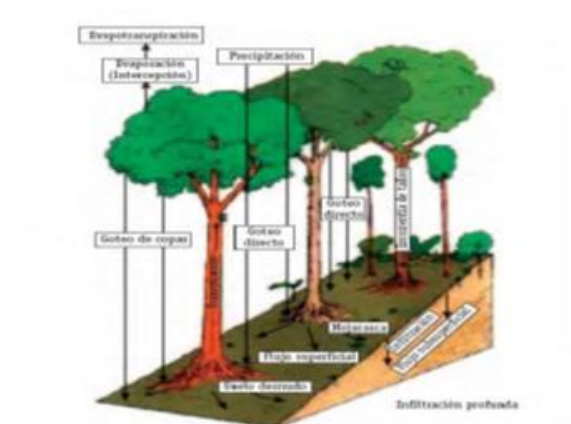
Lo anterior permite considerar que parte de las aguas que corresponden a subterráneas pueden provenir desde el este, especialmente desde la zona del denominado Macizo de Santander, que por medio de vasos comunicantes se desplazan desde las áreas topográficamente más altas, descienden y luego se dirigen hacia la zona de la Mesa de Los Santos, en donde hoy día son aprovechadas.

el comportamiento en la zona de interés, se puede explicar, que considerando las características locales de tipo topográfico, asociadas con las definidas en los SEV's individuales y Tomografías, la dirección del agua superficial (proveniente exclusivamente de la precipitación) y el movimiento de las aguas subsuperficiales es hacia el sureste y occidente, teniendo en cuenta las pendientes que tienen, tanto la superficie topográfica como induciendo la ligera inclinación de la secuencia estratigráfica, representada por la Formación Los Santos.

La siguiente figura 25 representa el comportamiento que se da en regiones en las cuales existe vegetación arbustiva o arbórea, asociada a las precipitaciones, tipo de suelo, cobertura vegetal, presencia de restos vegetales (Hojarasca), y densidad de la vegetación entre otros, para que se produzca el llamado proceso de infiltración y movimiento del agua subsuperficial. Por lo tanto, en la medida que haya mayor o menor cobertura vegetal, asociada con las características intrínsecas del suelo, la capacidad de infiltración y percolación es variable.

Los anteriores elementos adicionalmente, facilitan o impiden que la infiltración sea rápida, y se dé una mayor cantidad de agua de escorrentía o el mayor caudal se dirija al subsuelo.

Figura 26. Proceso de infiltración y movimiento agua superficial



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas, Sector La Mesa.Fase I

6.8. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

Para la ejecución del Estudio Geofísico se efectuaron cuatro (4) fases o etapas de trabajo que incluyeron las siguientes actividades:

- **Fase de Reconocimiento Lito-Estratigráfico y Estructural:** Realizada en los alrededores del área del proyecto, con el fin de reconocer la geología local, estratigrafía, geomorfología, inclinación (actitud) de las capas de roca en superficie y constatar e identificar los principales agentes hídricos.
- **Fase de Adquisición de Datos:** Efectuada con la visita de anterioridad y puntual al predio del proyecto para planear la ubicación y ejecución de tres (3) Tomografías Eléctricas 2D **T6, T7, y T8** (Figuras 27, 28 y 29), con 112 electrodos espaciados cada 10.00 m para perfiles de exploración de 1110 m de longitud.
- **Fase de Valoración de Información:** Revisión bibliográfica y análisis de la Información geológica existente de superficie y subsuelo, para el sector del estudio.
- **Fase de Procesamiento e Interpretación:** Con los datos adquiridos de las fases anteriores y utilizando software de inversión y modelización AGI EarthImager 2D para el procesamiento e interpretación de los datos de las Tomografías Eléctricas 2D los cuales se correlacionan los resultados con la información regional y local.

El estudio geofísico se realiza con un Equipo de resistividad SUPERSTING R8 IP (Figura 26). Es un equipo multi-canal portátil, medidor de resistividad del subsuelo con almacenamiento de lecturas en memoria con ciclos de medidas definidos por el usuario. Proporciona la exactitud más alta y los niveles más bajos de ruido en la industria. Este instrumento nuevo revoluciona los estudios del campo de resistividad por imagen por su capacidad de medir simultáneamente hasta 8 canales utilizando

un transmisor de alto poder para que la producción de datos de campo pueda alcanzar altas velocidades.

Figura 27. Equipo de resistividad SuperSting R8 IP empleado para la ejecución de las Tomografías Eléctricas 2D en el sector la Mesa del municipio de Los Santos, departamento de Santander.



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas, Sector La Mesa.Fase I

Las siguientes son las especificaciones técnicas: Corriente de salida de 1mA - 2000mA continuo, medido a gran exactitud; Voltaje de salida de 800 Vp-p, el voltaje actual del electrodo depende de la corriente transmitida y la resistividad del subsuelo; La supresión de ruido será Mejor que 100 dB en Hz $f > 20$ Hz; La supresión de ruido de líneas eléctricas será Mejor que 120 dB en las frecuencias de líneas eléctricas (16 2/3, 20, 50 & 60 Hz) ciclos de medida 1.2 s y más; La Impedancia de entrada es > 20 MOhms; La total exactitud es Mejor que 1% de lectura en la mayoría de los casos (medidas de laboratorio). La certeza de la medida del campo depende del ruido del terreno y de la resistividad. El instrumento calculará y mostrará estimación exacta de las medidas; El SuperSting

R8 IP está diseñado para hacer disposiciones dipolo-dipolo, polo-dipolo, polo-polo, Wenner y Schlumberger incluidos estudios completamente automáticos de roll-along con el sistema Modo-Doble Swift Automático de Multi-Electrodo. El SuperSting R8 IP puede hacer cualquier otra disposición utilizando un archivo de comandos programado por el usuario; El SuperSting cuenta con un Monitor gráfico de LCD (16 líneas x 30 caracteres) con luz nocturna; La temperatura de operación está entre -5 a +50°C; 56 Electrodoes en Acero Inoxidable de Alta Conductividad; Lecturas en auto-rango; Fuente de entrada 12V y 24V.

Figura 28. Imagen satelital de Google Earth con la ubicación de la Tomografía Eléctrica 2D T6 en la vereda Rosablanca, sector la Mesa, municipio de Los Santos, departamento de Santander.



Figura 29. Imagen satelital de Google Earth con la ubicación de la Tomografía Eléctrica 2D T7 en la vereda Tabacal, sector la Mesa, municipio de Los Santos, departamento de Santander

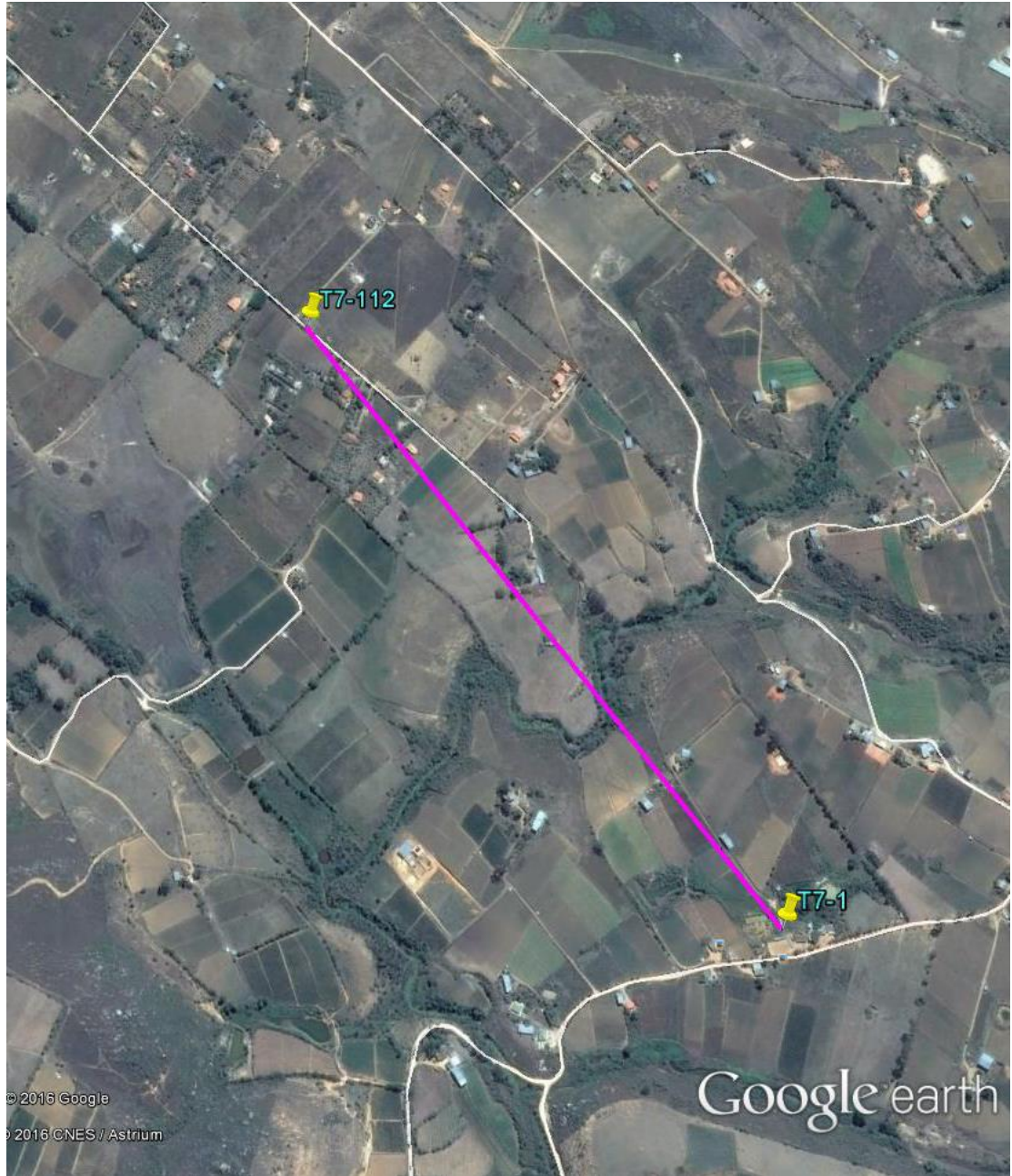


Figura 30. Imagen satelital de Google Earth con la ubicación de la Tomografía Eléctrica 2D T8 en la hacienda El Roble, vereda El Carrizal, sector la Mesa del municipio de Los Santos, departamento de Santander.



6.8.1. Investigación mediante la técnica de Tomografías Eléctricas 2D. Esta metodología prospectiva técnica permite la determinación de los cambios

litológicos lateralmente y en profundidad, aprovechando el contraste de la resistividad entre las diferentes formaciones litológicas.

Este método se basa en que toda roca, como conductor de la corriente eléctrica, se le puede considerar como un agregado que consta de un esqueleto sólido mineral, de líquidos y de gases.

En la resistividad de tal agregado influyen los siguientes factores:

- Resistividad de los minerales que forman la parte sólida de la roca.
- Resistividad de los líquidos y gases que rellenan los poros de la roca.
- Humedad de la roca.
- Porosidad, textura y forma y distribución de los poros incide de forma directa en la resistividad de la roca, a todo este conjunto se le denomina factor de formación, de aquí que:

$$\rho = F \cdot \rho_w,$$

Dónde:

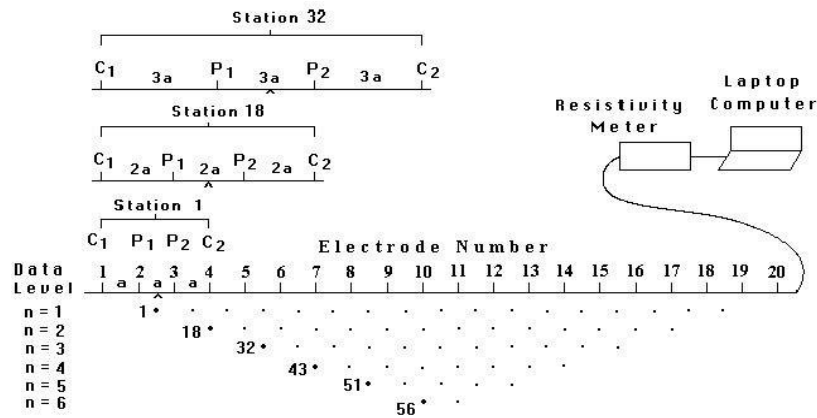
- ρ , es la resistividad del conjunto.
- F , es el factor de formación
- ρ_w , es la resistividad del fluido que contienen los poros.
- Los procesos físico-químicos que ocurren en el contacto de los líquidos de los poros y el esqueleto mineral.

Esta serie de aspectos teóricos expuestos son los que dan la pauta de comportamiento del parámetro resistividad para los diferentes materiales.

6.8.1.1. Técnica de campo y procedimiento de medidas: Uno de los nuevos métodos desarrollados en años recientes es el uso de la Tomografía Eléctrica 2D (Electrical Tomography) o también llamada Imágenes Eléctricas (Electrical Imaging), que pueden obtener mejores resultados que otros dispositivos en áreas con geología moderadamente compleja (Griffiths y Barker 1993). Tales

prospecciones se efectúan comúnmente usando un número grande de electrodos, conectado a un cable multi-conductor (Figura 30)

Figura 31. Dispositivo electrónico para prospecciones por Tomografías Eléctricas 2-D y secuencia de medidas.



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Aguas subterráneas, Sector La Mesa. Fase I

6.8.1.2. Trabajo realizado e interpretación: La investigación llevada a cabo consistió en la ejecución de tres (3) perfiles T6, T7 y T8 con interés litológico, hídrico y estructural.

El dispositivo de medida utilizado fue Gradient con 112 electrodos de acero inoxidable de alta conductividad, con separación entre electrodos de 10.00 m para las tres Tomografías Eléctricas 2D, lo cual permite investigar con gran detalle hasta una profundidad entorno de los 300 a 350 m.

Para la interpretación de los datos obtenidos en campo se utilizó el software de inversión y modelización AGI EarthImager 2D (Figuras 31, 32 y 33), imágenes de procesamiento e inversión), que efectúa la inversión completa 2D (y no la simple deconvolución iterativa de las pseudosecciones) de perfiles eléctricos de superficie

para los diferentes dispositivos de medidas (dipolo-dipolo, polo-dipolo, Wenner, polo -polo, etc.) y que para este caso se utilizó el dispositivo Gradient.

El programa utiliza el método de los elementos finitos (FEM) en dos dimensiones para modelizar la respuesta eléctrica del subsuelo. No es necesario especificar ningún tipo de parámetro para la construcción de la malla, tan solo la posición y la numeración de los electrodos utilizados para las medidas de campo. El algoritmo iterativo de inversión se basa en la minimización del error cuadrático medio entre los datos de campo y los datos simulados mediante el FEM, según el método propuesto por Sasaki (1994)

El resultado es la obtención en forma de sección de la resistividad real de los diferentes materiales y su profundidad.

Figura 32. Imagen 2D de inversión y modelización de la Tomografía Geoeléctrica T6

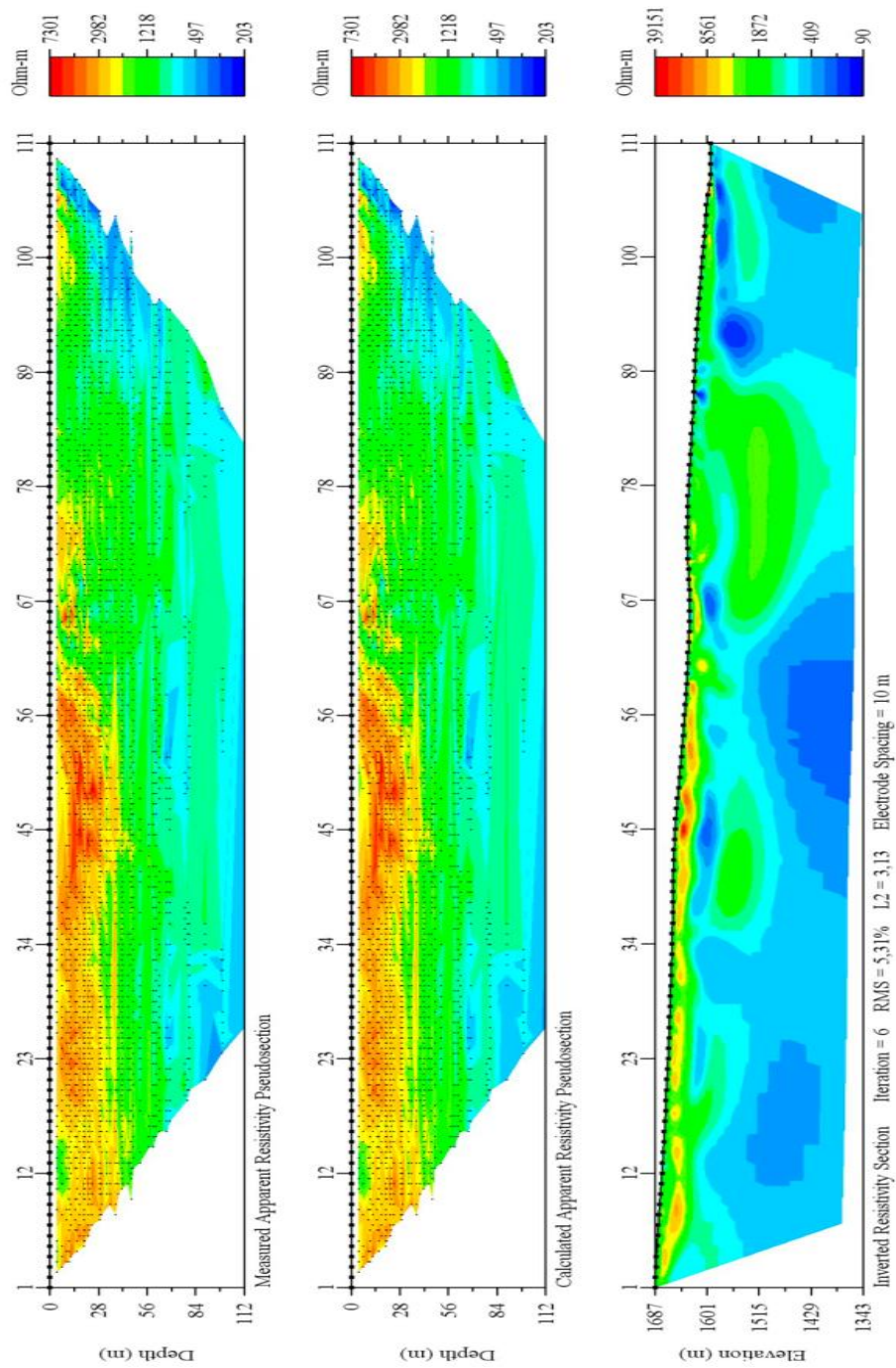


Figura 33. Imagen 2D de inversión y modelización de la Tomografía Geoeléctrica T7

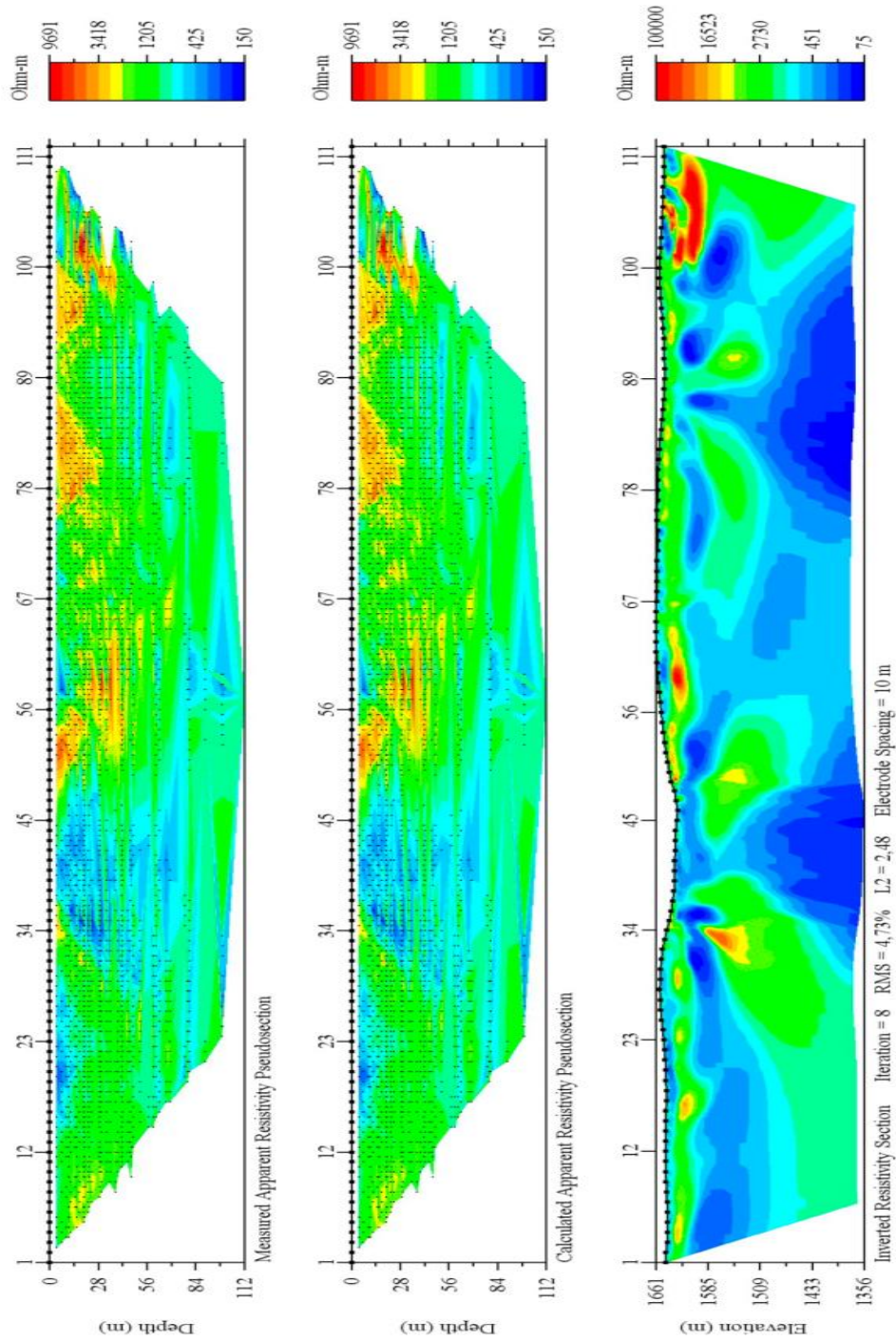
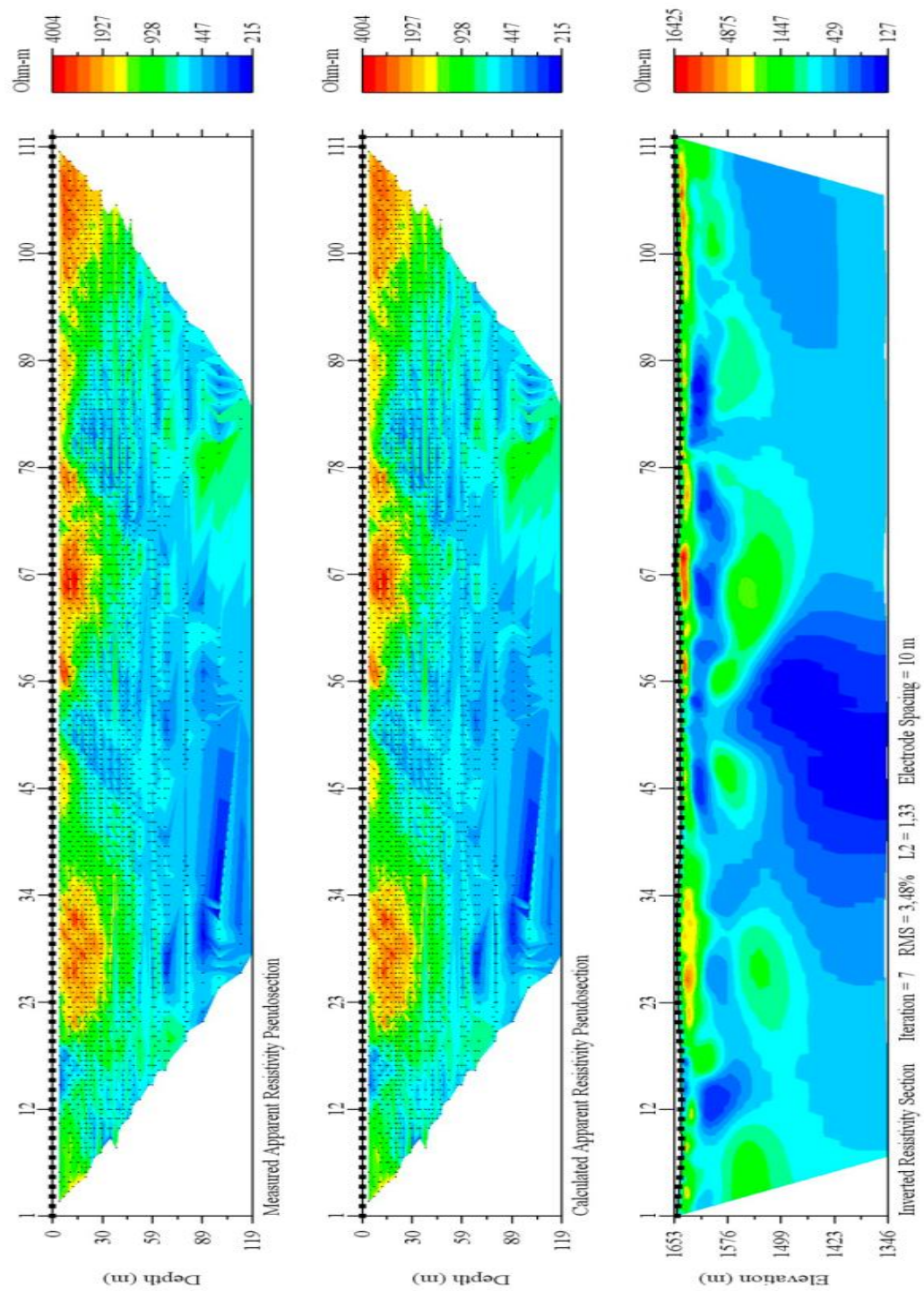


Figura 34. Imagen 2D de inversión y modelización de la Tomografía Geoelectrica T8



6.8.2. Interpretación de Resultados Geofísicos

6.8.2.1. Tomografía Eléctrica 2D T6

Localización: Mesa de Los Santos, vereda Rosablanca (ver figuras 35, 36, 37 y 38).

Rumbo Tomografía: NE - SW

Coordenadas: Electrodo 1 Tomografía: X = 1'243.567, Y = 1'108.504

Electrodo 112 Tomografía: X = 1'242.727, Y = 1'107.789

Se detecta un contraste de impedancia en los valores de resistividad, el cual corresponde a una variación composicional de la sección estudiada.

La imagen eléctrica de la Figura 34 presenta una secuencia sedimentaria, correspondiente con unidades de origen continental de edad Cretácico inferior, correlacionables con la Formación Los Santos, está constituida por tres miembros los cuales tienen características de base a techo de conglomerados y areniscas conglomeráticas con intercalaciones de areniscas finas y limolitas; limolitas y arcillolitas intercaladas con areniscas de grano muy fino a fino, y areniscas de grano fino a muy fino con delgadas capas de limolitas y arcillolitas hacia el techo. **(Zona A)** que suprayacen a rocas jurásicas fracturadas, compuesta predominantemente por limolitas intercaladas con areniscas lodosas de grano fino, en menor proporción capas de conglomerados líticos rojizos correlacionables con rocas sedimentarias jurásicas de la Formación Jordán **(Zona B)**

El espesor del basamento cretácico (Zona A – Fm Los Santos) varía en la imagen eléctrica adquirida de 120 a 150 m.

En la Zona A, o sea desde el basamento cretácico hacia la superficie y hacia la parte inferior se encuentra fracturado y presenta características muy conductivas, probablemente correspondientes a zonas muy fracturadas y saturadas, especialmente hacia el sector central hacia el NE y hacia el sector más SW de la Imagen eléctrica. Igualmente, el basamento Jurásico se encuentra fracturado y saturado en este sector.

Hacia parte intermedia y hacia el SW el basamento cretácico presenta características de menor conductividad y de mayor rigidez, probablemente corresponda a roca más masiva o de menor fracturamiento.

Figura 35. Imagen 2D de Tomografía Eléctrica T6.

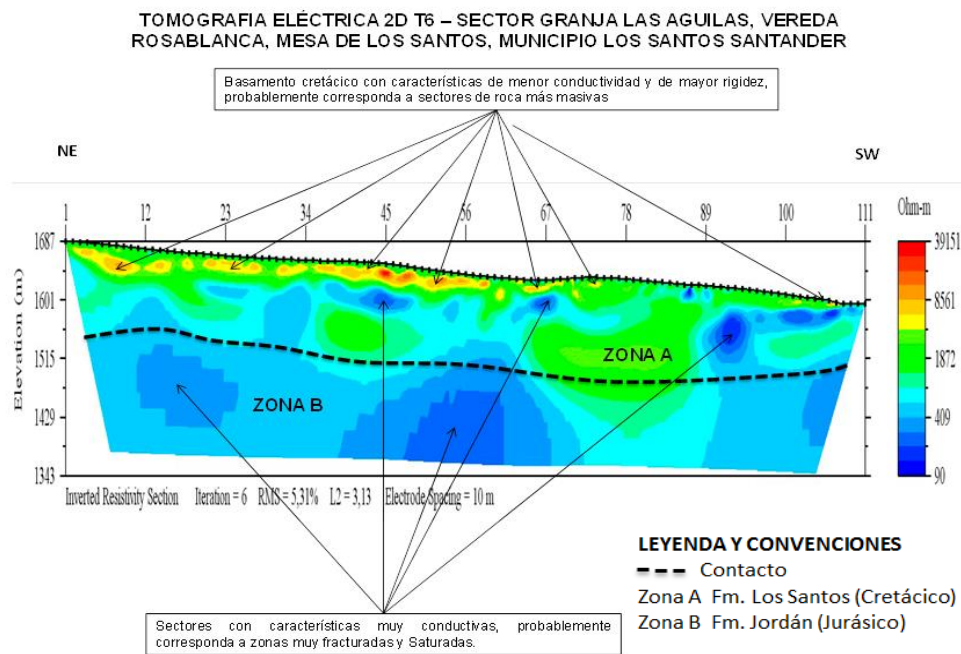


Figura 36. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T6.



Figura 37. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T6.



Figura 38. Extendida del multicable para la Tomografía Eléctrica 2D T6.



Figura 39. Instalación del multicable al electrodo para la Tomografía Eléctrica 2D T6.



6.8.2.2. Tomografía Eléctrica 2D T7

Localización: sector vereda El Tabacal (ver figuras 40, 41, 42 y 43).

Rumbo Tomografía: SE-NW

Coordenadas Electrodo 1 Tomografía: X = 1'244.541, Y = 1'111.376

Electrodo 112 Tomografía: X = 1'245.426, Y = 1'110.735

Se detecta un contraste de impedancia en los valores de resistividad, el cual corresponde con la variación composicional de la sección estudiada.

La imagen eléctrica de la Figura 39 corresponde a una secuencia sedimentaria, perteneciente a unidades de origen continental de edad Cretácico inferior, correlacionable con la Formación Los Santos, está constituida por tres miembros los cuales tienen características de base a techo de conglomerados y areniscas conglomeráticas con intercalaciones de areniscas finas y limolitas; limolitas y arcillolitas intercaladas con areniscas de grano muy fino a fino, y areniscas de grano fino a muy fino con delgadas capas de limolitas y arcillolitas hacia el techo. **(Zona A)** que suprayacen a rocas jurásicas fracturadas, compuesta predominantemente por limolitas intercaladas con areniscas lodosas de grano fino, en menor proporción capas de conglomerados líticos rojizos correlacionables con rocas sedimentarias jurásicas de la Formación Jordán **(Zona B)**

El espesor del basamento cretácico (Zona A - Fm Los Santos) varía en la imagen eléctrica adquirida de 100 a 150 m.

En la Zona A, o sea el basamento cretácico, de base a techo base y a lo largo de la imagen eléctrica presenta características muy conductivas, probablemente correspondientes a zonas muy fracturadas y saturadas; igualmente el basamento

jurásico, entre los electrodos 39 y 44 y del 78 al 95 de la imagen eléctrica 2D presenta alto fracturamiento y saturación.

El basamento cretácico y jurásico se encuentra afectado por tres zonas muy importantes de fracturadas y con posibilidad de mayor cantidad de agua subterránea. Igualmente se evidencia la dirección ascendente del flujo subterráneo.

Figura 40. Imagen 2D de Tomografía Eléctrica T7.

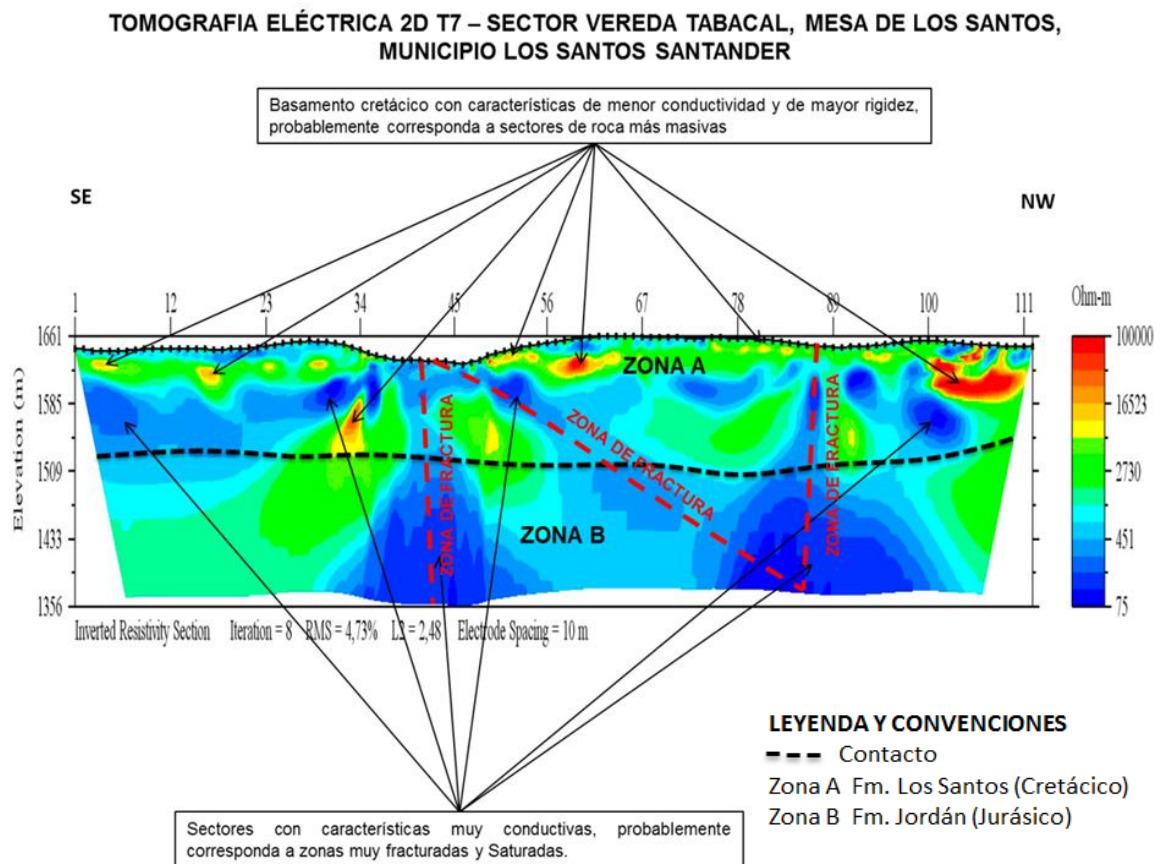


Figura 41. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T7.



Figura 42. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T7.



Figura 43 Extendida del multicable para la Tomografía Eléctrica 2D T7.



Figura 44 Instalación del multicable al electrodo para la Tomografía Eléctrica 2D T7.



6.8.2.3. Tomografía Eléctrica 2D T8

Localización: Hacienda el Roble, vereda El Carrizal (ver figuras 45, 46, 47 y 48).

Rumbo Tomografía: SE - NW

Coordenadas Electrodo 1 Tomografía: X = 1'251.136, Y = 1'111.080

Electrodo 112 Tomografía: X = 1'251.771, Y = 1'113.199

Se detecta un contraste de impedancia en los valores de resistividad, el cual corresponde a una variación composicional de la sección estudiada.

La imagen eléctrica de la Figura 44 presenta una secuencia sedimentaria que pertenece a unidades de origen continental, de edad Cretácico inferior, correlacionable con la Formación Los Santos, está constituida por tres miembros los cuales tienen características de base a techo de conglomerados y areniscas conglomeráticas con intercalaciones de areniscas finas y limolitas; limolitas y arcillolitas intercaladas con areniscas de grano muy fino a fino, y areniscas de grano fino a muy fino con delgadas capas de limolitas y arcillolitas hacia el techo. **(Zona A)** que suprayacen a rocas jurásicas fracturadas, compuesta predominantemente por limolitas intercaladas con areniscas lodosas de grano fino, en menor proporción capas de conglomerados líticos rojizos correlacionables con rocas sedimentarias jurásicas de la Formación Jordán **(Zona B)**

El espesor del basamento cretácico (Zona A - Fm Los Santos) varía en la imagen eléctrica adquirida de 80 a 150 m.

En la Zona A o sea el basamento cretácico, presenta hacia parte intermedia y a lo largo de la imagen eléctrica y hacia la base en el sector central y en dirección SE fracturamiento con características muy conductivas, probablemente

correspondientes a zonas muy fracturadas y saturadas, especialmente entre los electrodos 32 al 41, entre los electrodos 50 al 54 y entre los electrodos 80 al 83. Igualmente, el basamento Jurásico se encuentra fracturado y saturado hacia el sector NW de la imagen eléctrica 2D.

Hacia parte inferior del basamento cretácico se presentan áreas aisladas con características de menor conductividad y de mayor rigidez, probablemente correspondiendo con una secuencia roca más masiva y/o de menor fracturamiento.

El basamento cretácico y jurásico se encuentra afectado por cuatro zonas muy importantes de fracturadas y con posibilidad de mayor cantidad de agua subterránea. Igualmente se evidencia la dirección ascendente del flujo subterráneo.

Figura 45. Imagen 2D de Tomografía Eléctrica T8.

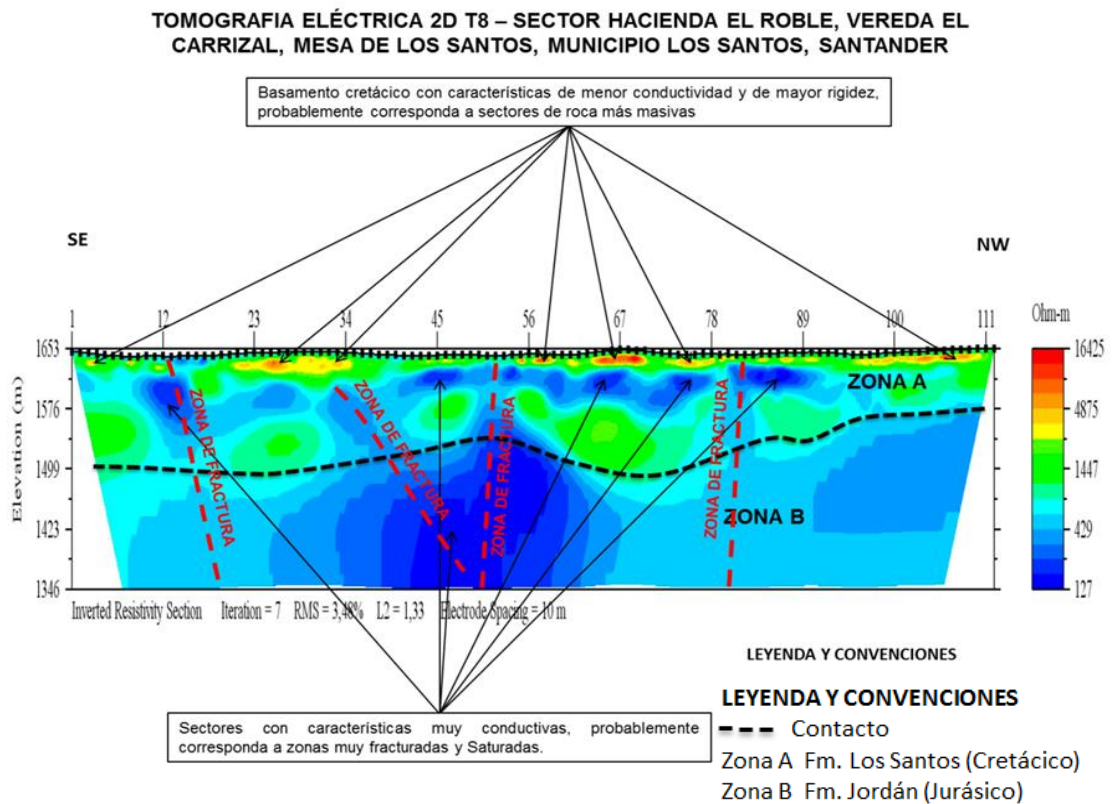


Figura 46. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T8.



Figura 47. Centro de adquisición de datos para la Tomografía Eléctrica 2D T8.



Figura 48. Extendida del multicable para la Tomografía Eléctrica 2D T8.



Figura 49. Instalación del multicable al electrodo para la Tomografía Eléctrica 2D T8



6.9. HIDROLOGÍA ÁREA DE ESTUDIO

De acuerdo con la exploración geofísica y visita de campo, se realiza la presente evaluación de la hidrología del área de influencia, con el fin de determinar la presencia y o ausencia del recurso hídrico superficial en la zona.

Con los anteriores objetivos se efectúa la visita de campo, para identificar la existencia de corrientes superficiales, cañadas naturales, escorrentías, canales artificiales y sectores de acumulación de aguas tanto naturales como artificiales y la identificación de aguas subterráneas por medio de pozos profundos.

6.9.1 Cuerpos Lóticos. En primera instancia se procedió a identificar los cuerpos loticos existentes en el área de estudio.

En este numeral se consideran los diferentes tipos de cuerpos loticos existentes, entendiendo como tales aquellos cuerpos de agua que tienen una entrada y una salida, por lo cual sus aguas siempre tienen movimiento, tales como quebradas, caños y que adicionalmente tienen nacimiento y desembocadura.

En el sector la principal fuente hídrica superficial identificada corresponde a una corriente de caudal muy bajo denominada quebrada La Honda, la cual recorre de SE a NW el límite nororiental del municipio de Los Santos con el municipio de Piedecuesta; existe adicionalmente la quebrada Pozo Azul, que recorre de NE a SW el sector central de la Mesa de Los Santos, municipio de Los Santos. Por su forma de drenaje, se puede manifestar que es de tipo subparalelo, con cauces angostos y muy poco profundos. La referidas microcuencas se caracterizan por ser de forma muy irregular, sus únicos afluentes corresponden a drenajes de aguas lluvias de corta longitud.

Estas pequeñas fuentes hídricas superficiales son afluentes del río Chicamocha, que se desplaza bordeando la parte oriental y sur del municipio de Los Santos.

En el sector de la denominada Mesa de Los Santos (zona de estudio), existen canales naturales de escorrentía por los que discurre el agua de precipitación de los terrenos aledaños, los cuales drenan en forma radial sobre la mesa propiamente dicha.

6.9.2. Cuerpos Lenticos. Se define como cuerpo lentic, al cuerpo de agua que hace parte de sistemas de almacenamiento, ya sea natural o artificial, en el cual las aguas son estacionarias. Los más conocidos son los manantiales, nacederos, aljibes, jagüeyes, represas, pantanos, charcas, lagunas.

En el sector de La Mesa del municipio de Los Santos, existen cuerpos lenticos identificados y bien distribuidos en toda el área, que difícilmente tienen movimiento vertical hacia el subsuelo, porque algunos presentan en su lecho caolín que por ser un material impermeable y otros que fueron revestidos con material arcilloso, haciendo posible la acumulación y retención de aguas lluvias, generando cuerpos húmedos, que son aprovechados para usos industriales, agrícolas, ganaderos, etc.

6.10. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MESA DE LOS SANTOS

Ante la no disponibilidad de fuentes de agua superficial suficientes para el abastecimiento de la población de la Mesa de los santos que requiere del recurso hídrico para satisfacer sus necesidades vitales básicas, en viviendas individuales, como en aglomeraciones veredales, en proyectos agropecuarios para riego y para

uso animal, turismo etc. El agua subterránea suele representar una fuente única, una fuente alternativa o una fuente complementaria del recurso.

Figura 50. Diligenciando la entrevista psicosocial y llenando el Formulario único Nacional De Inventario de Aguas Subterráneas. (FUNIAS) del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas.



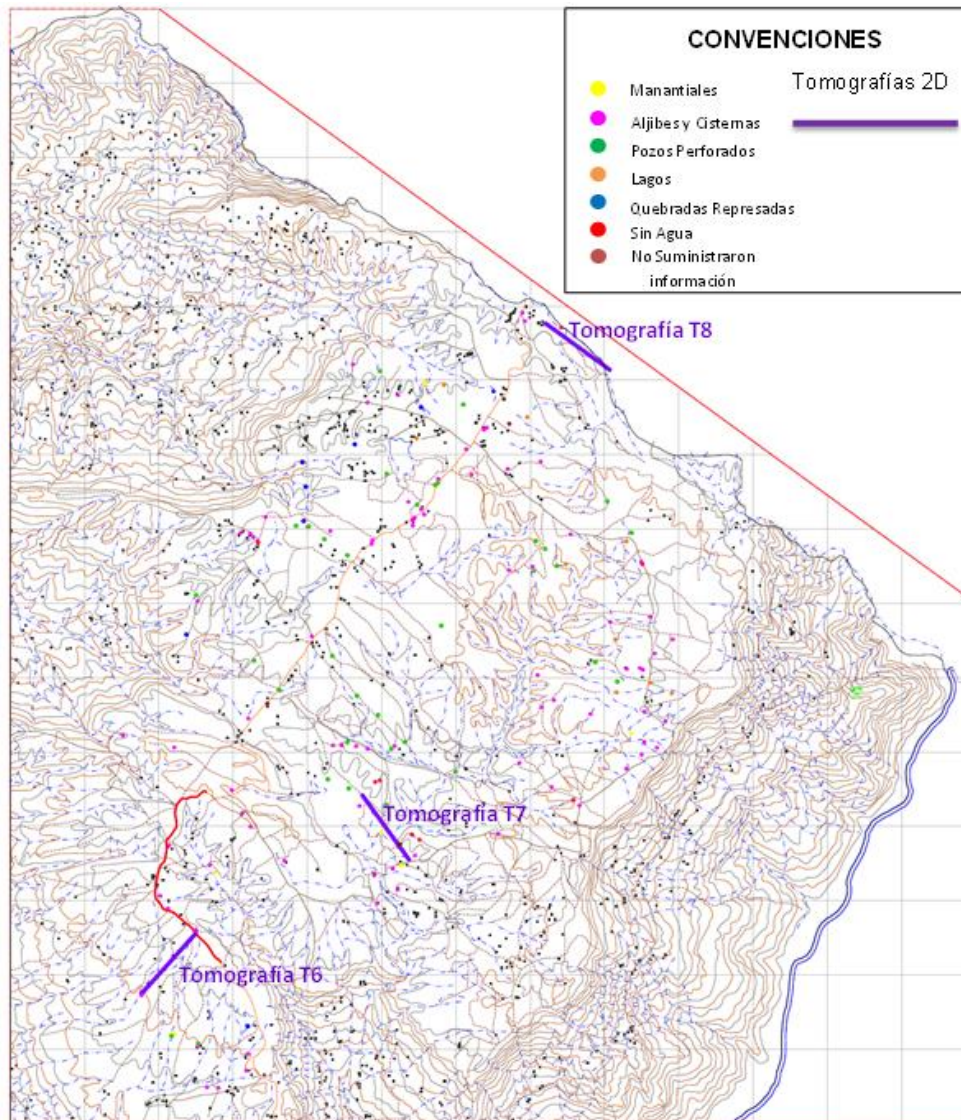
Uno de los aspectos que hacen particularmente útil el agua subterránea para el consumo humano es la menor contaminación a la que está sometida y la capacidad de filtración del suelo que la hace generalmente más pura que las aguas superficiales. Además que este recurso es poco afectado por períodos prolongados de sequía. La utilización del agua subterránea se ha venido incrementando en el mundo desde tiempos atrás y cada día gana en importancia debido al agotamiento o no existencia de fuentes superficiales. Se estima que más de la mitad de la población mundial depende del agua subterránea como fuente de agua potable.

INGEOEXPLORACIONES SAS realizó y llevo a cabo el Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS), en el Sector la Mesa

Municipio de los Santos. Durante ese trabajo fue revisada y analizada con el fin de entender la información en ella consignada e identificar la más relevante para el cumplimiento de los objetivos de este Plan, de igual manera se realizó la descripción de las condiciones y características de las captaciones de agua subterránea. Como guía se retomó información disponible en estudios del POMCA La Cañada 2008 y estudios de sondeos Geoeléctricos realizados por empresa Consultora IngeoExploraciones SAS. (Ver Figura 50)

La información procedente de las distintas fuentes fue confrontada inicialmente con el propósito de identificar puntos de agua que fueran comunes en las distintas bases de datos y evitar duplicaciones de registros, y para establecer campos comunes de información que deberían ser unificados.

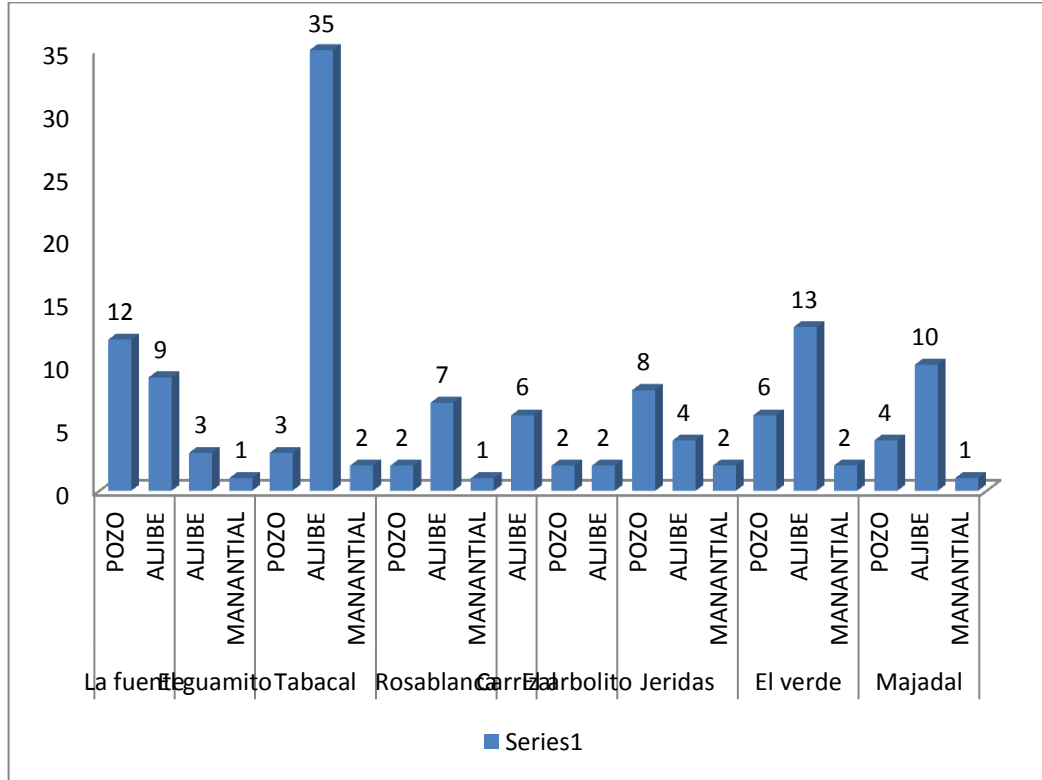
Figura 51. Mapa localización puntos de agua que hacen parte del inventario del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas sector La Mesa Municipio de los Santos.



Fuente: presente estudio.

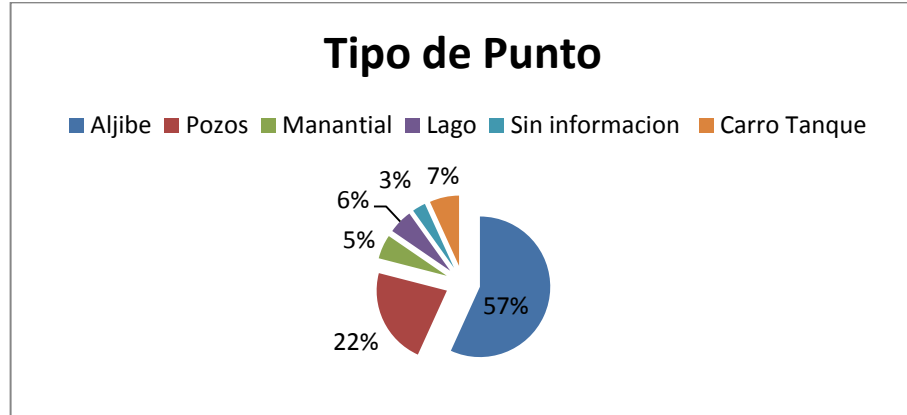
En la Figura 51 se presenta un mapa sobre el cual se observa la localización de los 162 puntos que hacen parte del inventario actualizado de puntos de agua subterránea en la Mesa de los Santos. (Ver Anexo 2).

Figura 53. Numero de tipos de puntos de agua en cada una de las veredas identificados en el inventario del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos.



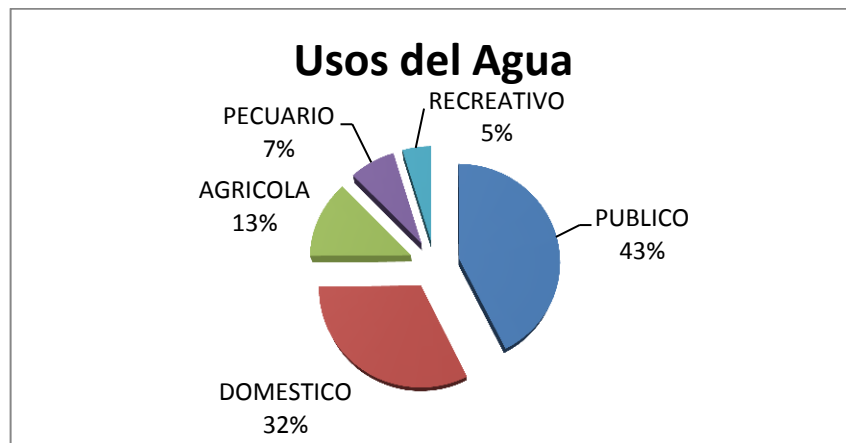
Mediante el análisis del diagrama de barras de la Figura 51 con la información del inventario de puntos de agua subterránea se puede afirmar que la Vereda Tabacal es la que posee la mayor cantidad de captaciones tipo aljibe (35) y La Vereda La fuente posee la mayor cantidad de pozos (12), igualmente los (9) manantiales reportados en la base de datos están distribuidos en las Veredas Tabacal, Rosa blanca, Majadal, El Guamito, Mesa de Jéridas y El Verde.

Figura 54. Porcentajes puntos de agua identificados en el inventario del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos.



De acuerdo con la información recopilada en campo y representada gráficamente en la figura 52, se observa un total de 162 puntos inventariados de los cuales el 57% corresponde a 92 aljibes, el 22% corresponde a 36 Pozos profundos, el 5% a 9 Manantiales, un 6% a 9 lagos, un 7% a 11 usuarios que se abastecen de carro tanque y un 3% que pertenece a 5 personas que no suministraron información.

Figura 55 Porcentajes Usos de agua identificados en el inventario del Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos.



Para 162 puntos de agua identificados, se cuenta el registro del tipo de uso que se da al recurso hídrico, de ellos el 32% corresponden al sector doméstico, 13% al agrícola, 5% corresponde a captaciones que usan el recurso en actividades hoteleras y turísticas, para uso pecuario se reporta un 7%. (Ver figura 53) Teniendo en cuenta que desconocemos las cantidades usadas en las Avícolas ya que no se pudo obtener información ni ingresar hacer inventario por cuestiones técnicas de ingreso y normas de bioseguridad que manejan estas entidades.

Según la información del FUNIAS, el volumen de agua subterránea extraído sería cercano a 400 a 600 m³/día; sin embargo es claro que esta cifra esta sub dimensionada, ya que los valores de extracción son complejos por diversas actividades cotidianas que pueden variar.

6.11. VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN.

Los terrenos acuíferos del subsuelo pueden tener una extensión horizontal pequeña, constituyendo los acuíferos locales o puntuales o bien alcanzar muchos kilómetros cuadrados, formando extensos acuíferos regionales. Asimismo, el espesor de los acuíferos puede también variar desde centímetros hasta más de mil metros.

El agua subterránea tiene su origen principal en la precipitación, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde ríos y lagos, por grietas y poros de la roca hasta alcanzar un nivel impermeable que no le deja descender más. El agua se va acumulando con el paso de los años llenando, de esta forma, los acuíferos. Estas aguas subterráneas van circulando a favor de gradiente hasta alcanzar puntos de salida a la superficie que se convierten en manantiales o

fuentes o en áreas difusas como los lechos de los ríos, cuyo caudal es mantenido por las aguas subterráneas.

6.11.1. El Papel de los Acuíferos en la Regulación de los Recursos Hidráulicos. Las aguas superficiales y subterráneas pueden realizar funciones complementarias en un sistema de recursos hidráulicos. Los acuíferos pueden representar alternativas interesantes para el almacenamiento de agua y ahorros económicos sustanciales en cuanto a los sistemas de distribución de superficie. La función de un acuífero como elemento de distribución de agua está asociada estrechamente a su papel como elemento de almacenamiento.

6.11.2. Contaminación de las aguas subterráneas. La alteración del eventual equilibrio químico establecido entre el agua subterránea y el terreno por el que circula, reflejada en la aparición de sustancias o compuestos extraños a los que configuran la calidad natural, sirve como indicador de la actividad humana.

Cuando la alteración constituye un impacto negativo en el ecosistema hídrico o se afecta al potencial del recurso para su utilización posterior, se puede hablar de contaminación.

Como definición técnica de contaminación se puede decir: “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”. El concepto de contaminación queda referido, por tanto, al uso posterior del agua o a su función ecológica.

A diferencia de lo que ocurre en las aguas superficiales, la detección de la contaminación y la evaluación de sus efectos presentan mayores dificultades en el caso de las aguas subterráneas. En las aguas subterráneas, la degradación de la

calidad se advierte con frecuencia cuando el proceso contaminante ha afectado a amplias zonas del acuífero.

No obstante, en las aguas subterráneas el poder depurador del terreno, en especial en acuíferos detríticos con porosidad intergranular y elevado contenido en minerales de arcilla o materia orgánica en la zona no saturada, puede atenuar o reducir a niveles aceptables el deterioro de la calidad. Este hecho constituye un factor positivo de protección natural no regulada del dominio público hidráulico y está íntimamente ligado al concepto de vulnerabilidad.

6.11.3 Vulnerabilidad y Riesgo. La vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación expresa la sensibilidad de las aguas subterráneas a una alteración de la calidad originada por actividades humanas.

Esta vulnerabilidad es función de una serie de características intrínsecas del acuífero, referidas a la parte del terreno situada sobre la superficie piezométrica. Estas características incluyen aspectos mineralógicos, nivel de consolidación y figuración y grado de desarrollo del suelo vegetal.

6.11.4. Actividades Contaminantes. Las principales actividades humanas, causantes de contaminación de aguas subterráneas, pueden englobarse en los siguientes grupos:

- **Residuos sólidos urbanos:** Los lixiviados procedentes de los propios residuos depositados en superficie al alcanzar la superficie freática, arrastran todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos. En el sector La Mesa del municipio de Los Santos, falta más compromiso de la alcaldía municipal en su alcance de la recolección de los residuos sólidos veredales, ya que no existen zonas de almacenamiento de los residuales y los camiones recolectores no cubren la necesidad de todo el sector de la Mesa.

- **Aguas residuales:** Las aguas residuales de los núcleos urbanos se vierten a cauces superficiales o en fosas sépticas. En ocasiones, tras una ligera depuración de las aguas residuales urbanas, se distribuyen en superficie aprovechando el poder filtrante del suelo. Los lodos resultantes de la depuración pueden representar, después de una segunda fase, el mismo problema. Estas aguas residuales pueden aportar distintos tipos de contaminantes como detergentes, nitratos, bacterias, virus, etc. En el sector La Mesa del municipio de Los Santos carece de un alcantarillado Veredal o comunitarios para la recolección y tratamiento de estas aguas. Se han presentado desbordamientos de los pozos sépticos en algunos sectores concurridos turísticamente contaminando los cuerpos de aguas tanto superficiales como subterráneos. Unido a esto se generan malos olores al medio ambiente.
- **Actividades agrícolas:** La contaminación de aguas subterráneas por este tipo de actividades es muy difícil de controlar ya que producen contaminación difusa que afecta a grandes extensiones. Así, los fertilizantes aportan compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio. En ocasiones se ha detectado que hasta el 50% de los nitratos pueden llegar al acuífero por infiltración. Por su parte, los plaguicidas aportan fungicidas, insecticidas, bactericidas, etc., estimándose una persistencia de estos productos de entre una semana y varios años. Asimismo, es posible que los metabolitos procedentes de la degradación de estos productos sean más tóxicos y persistentes que los productos originales.
- **Avicultura:** La contaminación de aguas subterráneas por este tipo de actividades producen alta contaminación en el agua superficial, subterránea debida a la infiltración, el suelo y el aire, los cuales son recursos naturales esenciales que dan vida y deben ser protegidos. Desafortunadamente hay áreas en diversas partes de la mesa donde existen focos de contaminación en los sectores avícolas que no fue posible de identificarlos por la dificultad técnica para el acceso.

- **Ganadería:** De los residuos de los animales proceden diversos compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros, y, en algunos casos, metales pesados. Este tipo de contaminación no suele ser muy importante a no ser que se trate de grandes explotaciones.
- **Actividades industriales y mineras:** En este caso las vías de contaminación y las sustancias contaminantes son muy variadas. Las labores de tratamiento de los minerales o la infiltración del agua de lluvia en las escombreras, en el caso de las minas, o los vertidos procedentes de la industria son causantes de la contaminación de las aguas subterráneas. En el sector La Mesa del municipio de Los Santos no se detectaron dichas actividades y menos este tipo de contaminación.

Corregir la contaminación de las aguas subterráneas es prácticamente imposible por lo que es fundamental tomar medidas para evitar que se produzca. Entre las medidas que pueden tomarse están buscar lugares impermeables para los basureros o escombreras, depuración previa de los vertidos, utilización cuidadosa de fertilizantes y pesticidas así como tener especial precaución a la hora de almacenar bajo tierra residuos peligrosos.

6.11.5. Vulnerabilidad Contaminación de Aguas Subterráneas. La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se establece por la facilidad con la cual ingresan las sustancias que puedan degradar la calidad del agua subterránea, mediante infiltración a través del suelo y la zona no saturada. Foster, 1987.

Uno de los métodos más usados en el mundo, para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos, es el denominado GOD, Foster e Hirata 1987, debido a la facilidad para los datos y la simplicidad en su aplicación.

El método **GOD** considera dos factores básicos:

El grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada

La capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero.

Los parámetros involucrados en el análisis son los siguientes:

G: Grado de confinamiento hidráulico, (clasificado desde surgente a libre)

O: Ocurrencia del estrato suprayacente (correspondiente a la litología de la Zona No Saturada, (ZNS)

D: Distancia al nivel del agua subterránea (calificada en rangos)

Cada uno de estos parámetros es valorado de acuerdo con la tabla de clasificación (Ver Figura 54) y el grado de vulnerabilidad se obtiene como resultado del producto de los 3 índices asignados a los parámetros **G**, **O**, y **D**.

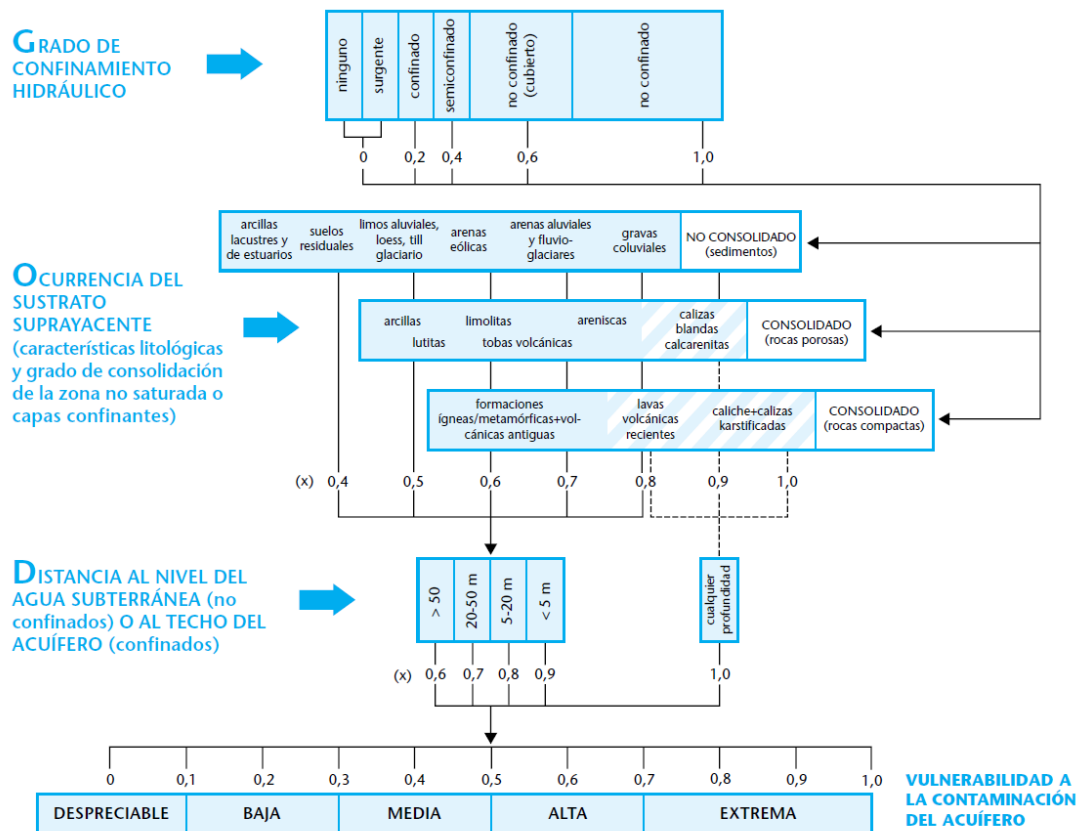
La Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación determinada por este método, se clasifica de despreciable a extrema, para lo cual se tiene las siguientes definiciones prácticas de la misma. Como guía para interpretar los grados de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos se presenta la siguiente tabla, tomada del Banco Mundial 2002 (Ver Tabla 13)

De acuerdo con lo planteado anteriormente se puede manifestar que los acuíferos presentes a lo largo de la zona correspondiente a la denominada Mesa de Los Santos indican una gran alternativa de almacenamiento de aguas subterráneas, a pesar de los bajos niveles de precipitación, lo cual está demostrado sustancialmente por el gran aprovechamiento que se tiene de las mismas en la zona,

Considerando el tipo de litologías, nivel de fracturamiento que se presenta en la región asociado al fallamiento y a la intensidad sísmica, se puede manifestar sin duda que la posibilidad de almacenamiento es alta.

Sin embargo, litológicamente existen las características para que pueda haber acuíferos confinados a semi confinados, de los cuales se puede manifestar que son productores a lo largo de la Mesa, con controles estructurales que los hacen de mayor o menor profundidad.

Figura 56. Método GOD para determinación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos



Fuente: (Guía calidad del agua subterránea, 2006).

Todo el sector se puede considerar con Vulnerabilidad Baja, teniendo en cuenta lo manifestado anteriormente, y considerando los diversos usos que se presentan a lo largo de la zona de influencia. Los principales usos de la zona son avícola, baja ganadería, y agrícola.

Tabla 12. Definición práctica de las clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.

CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICIÓN
EXTREMA	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
ALTA	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios con contaminación.
MODERADA	Vulnerable a muchos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
BAJA	Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
DESPRECIABLE	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

Fuente: Banco Mundial, 2002.

En algunos sectores puede manifestarse la existencia de acuíferos libres, más por su cercanía a superficie que por las características litológicas que los comprenden, los cuales se han venido aprovechando para diferentes actividades agrícola, ganadera, e incluso para uso doméstico. Adicionalmente se tiene que en la zona existen usos variados que en cierta forma son contaminantes en la medida que cada usuario realiza descargas sin control, ya sea directamente a las corrientes superficiales o sobre el suelo, con la intención que se presente infiltración directa.

A pesar de lo anterior la contaminación no es considerable.

La aplicación del método **GOD** permite observar a continuación la vulnerabilidad, donde se han tomado casos extremos para las regiones de La Mesa, teniendo en cuenta las variaciones tanto litológica como de profundidad del acuífero. Por lo tanto, se efectúa la vulnerabilidad de acuíferos para los sectores definidos, pero se contemplan y consideran dos variantes, que se relacionan con la profundidad y tipo de litología presente en la zona del acuífero y la misma profundidad.

Tabla 13. Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos.

Sector	G	O	D	Vulnerabilidad	GOD
Sector 1	0,2	0,9	0,6	0,11	Bajo
Sector 1	0,4	0,8	0,7	0,22	Bajo
Sector 2	0,4	0,8	0,6	0,19	Bajo
Sector 2	0,2	0,9	0,7	0,13	Bajo
Sector 3	0,2	0,9	0,8	0,16	Bajo
Sector 3	0,4	1,0	0,8	0,32	Moderado

Fuente: IngeoExploraciones 2016.

De la Tabla 13 se puede manifestar que a pesar de haber considerado tres (3) sectores con litología y profundidad variable para las zonas de La Mesa de Los Santos, prevalece una Vulnerabilidad Baja. En el caso de la Moderada se define que está en la parte inferior del rango correspondiente.

Sin embargo, se considera que de manera local puede existir una mayor vulnerabilidad a la contaminación, llegando a alcanzar el rango de Moderada, Alta o Extrema, teniendo en cuenta que en las cercanías se presenten descargas o arrojado de materiales contaminantes, que pueden estar asociados con agroquímicos, insecticidas y pesticidas, o cualquier otro insumo contaminante. Este tipo de comportamiento es muy puntual, por lo cual no se debe considerar, ni siquiera como local, considerando que el área que abarca es mínima.

Por lo tanto, se puede manifestar que el grado de contaminación a la Vulnerabilidad Intrínseca a la Contaminación es Baja para el sector estudiado en La Mesa de Los Santos, con una tendencia hacia Moderado, pero que de ninguna manera es representativa para ser considerada como de riesgo para el consumo principalmente doméstico, pues para otras actividades reúne las condiciones de las normas vigentes.

6.12. RIESGOS DE CONTAMINACIÓN Y DE AGOTAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las afectaciones ocasionadas por actividades extractivas superficiales y de agua subterránea dentro del dominio espacial de un sistema hidrogeológico, pueden traducirse en una amenaza por desabastecimiento en la medida en que comprometan significativamente la cantidad de agua involucrada y la dependencia que la comunidad humana y los ecosistemas tengan de ella. De otra parte las intervenciones que afecten la magnitud de la recarga también pueden incluirse como factores causantes de desabastecimiento.

Para la Mesa de los santos el diagnóstico hasta aquí construido, reuniendo elementos de los componentes físicos y socioeconómicos, y agregando las amenazas identificadas, Siguiendo este orden de ideas, se identifica como amenazas Naturales, sobre explotación de las cañadas y sus taponamientos o presas para retener sus caudales, y la deforestación. Define como problema principal, la disminución de la calidad y cantidad de las aguas en la Mesa de los Santos, se identifican las amenazas y se detallan las causas de las mismas. Un conjunto de causas relacionadas con todas las amenazas identificadas tiene que ver con la falta de gobernanza, la falta de educación en materia de ambiente e hidrología y el conocimiento incompleto del sistema hidrogeológico, se definen los efectos, en términos de riesgos por contaminación, desabastecimiento y sequía, lo que traería como consecuencias la disminución en calidad de vida de la población,

la afectación a las actividades agropecuarias y la pérdida de funciones y servicios de los ecosistemas.

6.12.1. Desarrollo urbano. Las actividades contaminantes relacionadas con el desarrollo urbano, resaltando entre ellas las que fueron identificadas en la zona de estudio. Puede constatarse que en la Mesa de los Santos según Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos, desarrollado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Corporación Autónoma Regional de Santander “CAS”) – Ingeoexploraciones SAS se encontraron problemas de saneamiento y que tienen que ver, en áreas urbanas y rurales, con inadecuado manejo de aguas residuales y de residuos sólidos.

El urbanismo desmedido en la Mesa de los Santos aporta efectos negativos y tiene relación directa sobre todas las problemáticas encontradas en este corto periodo investigativo. Desde la última década las construcciones de casas y parcelaciones han crecido de manera exponencial, considerándose un aspecto preocupante en cuanto a la capacidad de sostenibilidad ambiental por causa del mismo crecimiento; sumado a ello, el deficiente manejo ambiental de las empresas y avícolas en el territorio Santero. Se establece así, una fase histórica de crecimiento basado en la depredación y la destrucción de los recursos naturales, con actividades económicas altamente dependientes de los mismos y sobre la base de ecosistemas y cuencas muy frágiles que ya han soportado siglos de degradación severa.

La proyección más plausible apunta a una crisis ambiental grave con efectos sociales preocupantes en términos de riesgo, pobreza y daños, sin contar el hundimiento de las actividades económicas más sensibles a la calidad ambiental, como la suburbanización y el turismo.

Tomando como referencia lo mencionado anteriormente, se mencionan a continuación algunos efectos socio-ambientales identificados en cada una de las visitas realizadas.

- El uso ineficiente del agua, se refleja en la pobre tecnología de captación, almacenaje, distribución y riego. Lo anterior se agrava por la violación a la prioridad normativa del uso: una parte importante del recurso se concesiona y se dedica al riego de prados y jardines en urbanizaciones que permanecen deshabitadas la mayor parte del año; mientras, las comunidades campesinas de las partes bajas de cada micro cuenca sufren de una escasez crónica que les impide regar sus cultivos, sostener sus animales y preparar sus alimentos, lo cual pesa sustancialmente en su situación de pobreza extrema.
- Al desperdicio del agua se suman los vertimientos con tratamiento nulo o deficiente. La mayor parte del crecimiento suburbano se basa en pozos sépticos y redes de infiltración.
- La densidad y la baja calidad técnica de dichas instalaciones, así como la falta del retiro correspondiente a los humedales y quebradas ya generan problemas notables de degradación de los ecosistemas e insalubridad.
- La contaminación por agroquímicos es uno de los problemas más graves, asociado principalmente a la agricultura tradicional del tabaco y las hortalizas. Los herbicidas se aplican sin implementos ni medidas de seguridad, en concentraciones y mezclas contraindicadas, a barlovento de las viviendas, escurriendo a fuentes de agua y sin disposición adecuada de envases.
- Generaciones de agricultores creciendo en este medio altamente tóxico son uno de los principales problemas ambientales y sanitarios del municipio.

La valorización de estos terrenos es muy alta y cada metro de tierra cobra importancia económica, por esto el despeje de bosque y la adecuación de terrenos son prácticas comunes antes de urbanizar o vender parcelas.

6.12.2. Actividad Pecuaria. El municipio es uno de los principales productores avícolas de la región y el país. Esto genera una alta producción de vertimientos que, en parte, no reciben el tratamiento reglamentario. Adicionalmente, la gallinaza se emplea masivamente para la fertilización de potreros en la ganadería local, generalmente sin cumplir las normas de compostaje y control de escorrentía, con lo cual se producen temporadas frecuentes de malos olores, contaminación de quebradas y proliferación de la plaga de mosca hematófaga (Los Santos, Santander 2012-2015). Estos son impactos serios sobre la calidad de vida y la salud pública; pero son más graves en un municipio turístico.

6.12.3. Mecanismos hidráulicos para el abastecimiento. Otro inconveniente es el agua potable necesaria para el saneamiento de estas urbanizaciones y parcelaciones, por esto en muchos casos se drenan los caños y nacederos que surten algunas quebradas las cuales hacen un esfuerzo por mantenerse. Adicionalmente se suma otra práctica que consiste en conectar grandes motobombas al cause principal para alimentar lagos y pozos artificiales que permiten asegurar el agua a este gremio.

Quebradas principales como La Cañada, Mata de Plátano, La Honda entre otras, en época de verano intenso el caudal reduce su cauce drásticamente, perjudicando a los usuarios de las partes más bajas ya que el nivel de agua no es suficiente para satisfacer la demanda total de las familias del sector.

Según estudios, el efecto de la modificación de estos regímenes hídricos sobre la biodiversidad es fuerte ya que al establecer las barreras de represamiento se afectan los corredores naturales de las especies persistentes, las cuales cada vez se encontraran más aisladas y fragmentadas. Adicionalmente el represamiento fomenta la concentración de sustancias orgánicas y químicas afectándose la calidad del agua y por lo tanto la riqueza y abundancia de especies, dando lugar al incremento de especies plagas o generalistas que toleran estas condiciones

adversas y que al tiempo desplazan aquellas menos tolerantes y más sensibles a las perturbaciones. (Instituto Humboldt, 2006)

Se pudo observar también que solo un 60% de la población tiene sistema de recolección de aguas lluvias, que en su gran mayoría la usan para riego de cultivos, labores domésticas y muy pocos la usan para el consumo. Pese a la problemática, los actores no aprovechan este método de recolección fácil, económica y de gran ayuda para solventar esta problemática. Ahora bien, sus esperanzas están puestas en un carro tanque enviado por el Municipio quien cada semana pasa y abastece a gran número de familias Santeras, lo que genera tranquilidad minimizando el grado importancia de acudir al sistema de recolección de aguas lluvias.

6.12.4. Amenazas Naturales. El cambio climático y sus impactos en el ciclo hidrológico como el ascenso en el nivel del mar, los cambios en el régimen de lluvias, tormentas severas más intensas y más frecuentes, sequías cada vez más severas, entre otros; son temas que se vienen desarrollando y comprendiendo en la medida que se avanza en el conocimiento y se crean nuevos enfoques, herramientas y métodos de investigación. En este contexto se reconoce el cambio climático como amenaza de carácter natural que podría llegar a comprometer la cantidad y calidad del recurso hídrico subterráneo, ya que estas aguas forman parte del ciclo hidrológico.

En el caso de los acuíferos de la Mesa de los Santos, los cambios en el régimen de lluvias, y sequías cada vez más severas.

En la etapa siguiente del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas deberá profundizarse en estas amenazas y los impactos que podría generar sobre el sistema de acuíferos presentes en esta Zona estudiada.

La mayor parte del territorio en la Mesa de Los Santos es escaso en agua todo el año e incluso en las partes altas se presenta un déficit hídrico estacional muy marcado, de enero a marzo. Los suelos, la vegetación y el paisaje se encuentran alterados por siglos de deforestación, quemas y erosión. Esto hace que la mayor parte de la masa forestal que cubrió casi la totalidad del territorio, haya desaparecido. Al mismo tiempo, los pajonales secundarios se han extendido sobre las áreas originalmente forestales, en un proceso de sabanización que se acompaña de la pérdida de regulación y caudales en todas las microcuencas. A su vez, gran parte del bosque seco tropical de las partes bajas ha sido destruido y reemplazado por suelos desnudos y matorrales abiertos, en la mayoría de los casos para venta de parcelas y lotes sin un control efectivo en cuanto a la reglamentación del EOT por parte de las autoridades competentes.

Por otra parte, para los pobladores de esta región no es un secreto que los usos actuales como la avicultura y la suburbanización acaparan, desperdician y contaminan los caudales de las partes altas y medias agudizando el desabastecimiento y la crisis social de las partes medias y bajas. Este aspecto fue la respuesta de la mayoría de actores entrevistados ante preguntas como: ¿Cuáles son los problemas o situaciones ambientales que se presentan en su sector en cuanto a la obtención del recurso hídrico?

La sequedad permanente o estacional, se une al tráfico pesado del turismo, la agroindustria y la minería, generando una fuerte contaminación por polvo (partículas finas en suspensión) a lo largo de los corredores viales. La escasez del arbolado y la invasión de los retiros viales hacen que la población vecina a las vías quede más expuesta a los problemas respiratorios derivados.

Según la información recolectada, afirman los actores en su gran mayoría que para ellos los principales factores que han afectado las fuentes hídricas de la Mesa de Los Santos comprenden aspectos socioeconómicos como la colonización

y urbanización acelerada, la agricultura y las empresas pecuarias. En la mayoría de los casos la suma de estas problemáticas ha incidido sobre la calidad del suelo, el aire y el recurso hídrico.

En algunos sectores y veredas por donde no circula el camión recolector de basuras, los actores acuden a quemar plásticos y basuras que a diario se generan en el hogar, práctica que está prohibida por el gobierno, siendo esto una amenaza no solo contra el medio ambiente, sino con su propia integridad al caer en riesgo de provocar un incendio por el fuerte verano y resultar afectada su vivienda por la cercanía en que estas quemas se hacen a menos de 5 m de la casa.

Ante la pregunta ¿Qué áreas conoce que sean vulnerables o eventos amenazantes que generen algún tipo de riesgo? La gran mayoría se refería a la pérdida incalculable e irreversible de la cobertura vegetal debido a la obtención de leña para cocinar, las varas para cultivos de tomate y pimentón, horcones, varas para cercas y linderos, el establecimiento de potreros para la ganadería y la expansión de la frontera de cultivos como tabaco, hortalizas y frutales, que cada vez crecen más hacia los bordes de las corrientes hídricas tratando de ganar la mayor cantidad de espacio posible para la producción.

A esto se suma otra problemática y es que en el tema de agricultura, al pretender retornar a un estado de hace 30 años, en la actualidad se consideraría imposible hacerlo, pues como se pudo observar en cada una de las visitas en contexto, varios intentos de cultivo de árboles frutales han fracasado siendo notoriamente infructuosos porque las raíces no logran desarrollarse para nutrir las plantas cuando ya alcanzan el piso duro, pedregoso explicaban algunos expertos en el tema. Evidentemente la población Santera no comprende aún el valor inmenso de los árboles y su importancia en la vida de la población de los múltiples aspectos que van del estético a lo económico; por lo que se pudo ver en este proceso

investigativo, la población va destruyendo los bosques y los árboles y con ello desaparece también la tierra, el mejor patrimonio para las generaciones futuras.

Afortunadamente, las partes más horizontales de la Mesa de Los Santos guardan naturalmente este tesoro de la tierra fecunda y es allí precisamente donde debería iniciarse una campaña de arborización intensiva de ésta zona Santandereana, paraíso en años pasados y hoy ante la triste perspectiva de quedar convertida en región estéril e inhóspita por falta de aguas y de árboles.

Como aspecto positivo frente al uso doméstico del agua extraída ya sea de pozos perforados, aljibes, nacimientos, lagos, entre otros solo un 2% de la población entrevistada expresó haberse enfermado alguna vez por el agua que consume; pero aproximadamente un 98% manifestó nunca haberse enfermado, pues recurren a la aplicación de químicos como el alumbre y el cloro para tratarla desde cada uno de sus tanques instalados en su propio predio. Esto muestra de alguna manera que pese a la contaminación de avícolas, industrias, y mal manejo de pozos sépticos, el agua de La Mesa mantiene su condición de agua potable apta para el consumo humano, sin embargo no sobra crear una propuesta en donde a través del gobierno departamental se realizara estudios sobre la calidad del agua de la que se abastece la población Santera.

6.13. CONFLICTOS POR USOS DEL SUELO EN ZONAS DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO

Considerando el crecimiento acelerado de la población y el incremento de prácticas agrícolas como galpones, cultivos de tomate, habichuela, maracuyá, piña, pasto de corte, pimentón, ganadería, tabaco, entre otros, cada vez la necesidad de abastecimiento del recurso hídrico es mayor. Sumado a ello, factores socio ambientales como el fuerte verano, resequedad de quebradas y el

uso inadecuado del recurso, han generado conflictos entre los residentes de diferentes sectores.

El agua subterránea es un recurso natural vital para el suministro confiable y económico de agua para consumo humano en los ámbitos urbano y rural. Por ello, juega un papel fundamental (aunque a menudo poco valorado) en el bienestar humano y de algunos ecosistemas acuáticos y terrestres.

Un prerrequisito para el abastecimiento municipal de agua es que el agua bruta que entra al sistema sea de calidad alta y relativamente constante, y la fuente que mejor cumple con ello es el agua subterránea, por ser un recurso protegido. Para lograr este objetivo, recurrir a procesos de tratamiento (más allá de la desinfección preventiva) debería ser el último recurso, pues los sistemas resultan costosos y técnicamente complejos, además de que implican una gran carga operativa.

Sin embargo, con demasiada frecuencia en el pasado los recursos de agua subterránea han sido 'abandonados a su suerte' y quienes los explotan para suministro de agua potable no han tomado acciones para proteger la calidad del agua.

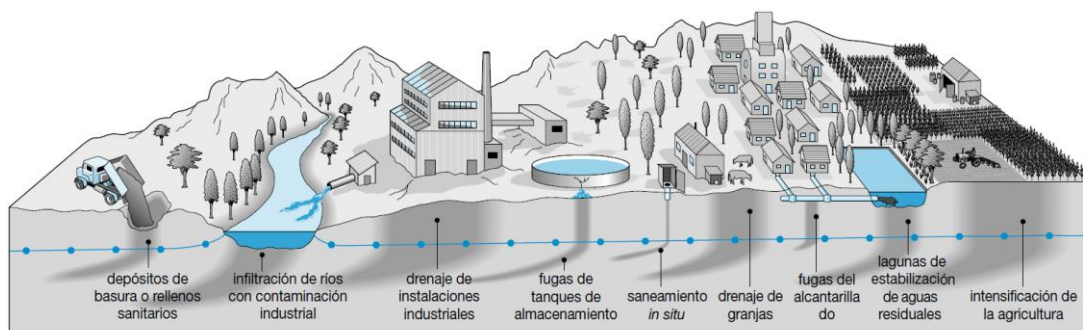
A nivel mundial, los acuíferos experimentan una creciente amenaza de contaminación ocasionada por la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y la explotación minera.

Estas acciones se justifican plenamente si se consideran tanto criterios amplios de sustentabilidad ambiental como criterios de beneficio económico más estrechos.

En algunos casos, lleva muchos años o décadas que el impacto de contaminación por un compuesto persistente se manifieste en el agua subterránea que proviene de pozos profundos. Esto puede llevar a una actitud complaciente sobre la

amenaza de contaminación, pero la implicación real es que, una vez que resulta obvio que la calidad del agua subterránea ha sido contaminada, generalmente es porque ya están afectados grandes volúmenes del acuífero, y las medidas de limpieza casi siempre tienen un alto costo económico y son técnicamente complicadas. (Protección de la Calidad del Agua Subterránea-2006)

Figura 57. Usos del suelo que normalmente generan amenazas de contaminación del agua subterránea.



Fuente: (Guía calidad del agua subterránea, 2006).

La contaminación de acuíferos ocurre si la carga contaminante sub-superficial generada por descargas y lixiviados antropogénicos (de actividades urbanas, industriales, agrícolas y mineras) no se controla adecuadamente y (en ciertos componentes) excede la capacidad natural de atenuación del terreno y los estratos subyacentes (ver Figura 57). Los perfiles naturales del subsuelo activamente degradan múltiples contaminantes del agua y, por mucho tiempo, han sido considerados potencialmente efectivos para realizar un depósito final seguro de excretas humanas y aguas residuales de origen doméstico.

La autoeliminación de contaminantes durante el transporte sub-superficial en la zona no saturada del subsuelo es el resultado de su degradación biológica y de diversas reacciones químicas, pero también se debe al retraso en el transporte del contaminante (ocasionado por su absorción en la superficie de arcillas minerales

y/o de materia orgánica), ya que aumenta en gran medida el tiempo disponible para que los otros procesos mencionados eliminen los contaminantes.

Sin embargo, no todos los perfiles del subsuelo y de los estratos subyacentes son igualmente eficaces en la remoción de contaminantes.

Considerando el crecimiento acelerado de la población y el incremento de prácticas agrícolas cultivos de tomate, habichuela, maracuyá, piña, pasto de corte, pimentón, ganadería, tabaco, entre otros, cada vez la necesidad de abastecimiento del recurso hídrico es mayor. Sumado a ello, factores socio ambientales como el fuerte verano, resequedad de quebradas y el uso inadecuado del recurso, han generado conflictos entre los residentes de diferentes sectores.

Tabla 14. Contaminadores comunes de agua subterránea y fuentes asociadas de contaminación (Protección de la Calidad del Agua Subterránea-2006)

FUENTE DE CONTAMINACIÓN	TIPO DE CONTAMINANTE
Actividad Agrícola	Nitratos, amonio, pesticidas, microorganismos fecales.
Saneamiento <i>In Situ</i>	Nitratos, microorganismos fecales, trazas de hidrocarburos sintéticos.
Gasolineras y Talleres Automotores	Benceno, otros hidrocarburos aromáticos, fenoles, algunos hidrocarburos halogenados
Depósito Final de Residuos Solidos	Amonio, salinidad, algunos hidrocarburos halogenados, metales pesados.
Manufactura de Pesticidas	Algunos hidrocarburos halogenados, fenoles, arsénico, metales pesados.

7. FASE FORMULACIÓN

En la fase de formulación (Figura 58), considerando escenarios prospectivos, y teniendo en cuenta los actores claves, se definen los programas, proyectos y actividades a ejecutar por la Autoridad Ambiental competente con las respectivas metas e indicadores, con el fin de dar solución a las problemáticas o amenazas y los riesgos asociados, identificados en la fase de diagnóstico. La fase de formulación del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas aportará la información necesaria para la planeación, el fortalecimiento institucional y la administración del agua subterránea.

Figura 58. Mapa conceptual de la Fase de Formulación.



7.1. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS PROSPECTIVOS

La definición de escenarios prospectivos hace posible que la comunidad y las autoridades locales, regionales y nacionales participen total y permanentemente sobre los diversos programas que se pueden montar para lograr un permanente uso racional del recurso hídrico subterráneo.

Por tanto, los escenarios más adecuados son los que la misma comunidad tiene, en donde es posible poner en práctica diferentes actividades que mancomunadamente fortalezcan los programas y recursos, con el apoyo de las autoridades civiles y ambientales que hacen presencia en la zona.

7.2. LÍNEAS ESTRATÉGICAS

La línea estratégica para este proyecto se fundamenta a partir de una posición Técnica, y se entiende como el conjunto coherente de programas, proyectos o actividades a manera de propuesta, con la intención de implementar y causar determinados cambios.

A continuación se presenta un conjunto de proyectos y actividades específicas que tienen por finalidad hacer frente a cada una de las problemáticas identificadas en la recolección de información y cada uno de los encuentros tanto grupales como individuales con la población de La Mesa de Los Santos. (Ver Tabla 15)

Tabla 15. Líneas Estratégicas a ejecutar. Fuente: presente trabajo.

LÍNEA ESTRATÉGICA	PROGRAMA, PROYECTO, ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">1. Acompañamiento técnico y pedagógico para el cuidado de zonas verdes, por medio de una Educación ambiental formal.</p>	<p>Capacitación a la población sobre las prácticas de la localidad que más afectan a las fuentes hídricas.</p>	<p>Con esto se busca crear el fortalecimiento social que permita la participación activa y cualificada en la gestión del agua y la valoración de la misma entre los actores, mejorando el conocimiento sobre su dinámica, los riesgos que pueden afectar su calidad y cantidad, que se conozca sobre los daños generados al ecosistema al tomar acciones poco asertivas como limpiar lagos, represar el agua, cisternas mal elaboradas, y como prevenir y manejar dichos riesgos, y la importancia de un uso adecuada de la misma. Implementar la metodología y habilidades para la vida y medio ambiente. Promover la conservación de los recursos naturales y los ecosistemas en el territorio de Los Santos y al mejoramiento continuo de la sostenibilidad y eco eficiencia en las formas de ocupación y de producción</p>
	<p>Apoyo técnico para la asesoría de recuperación de zonas verdes y creación de viveros para la restauración de las cuencas.</p>	<p>Permite a los propietarios la reforestación de su interés para que mejore con las condiciones ambientales de la región de La Mesa.</p>
	<p>Implementar los proyectos PSA, pago por servicios ambientales, como ejemplo Banco O₂ y llevar un completo seguimiento.</p>	<p>El proyecto Banco O₂, busca el pago por servicios Eco sistémicos; en otras palabras es pagarle al campesino por el cuidado y mantenimiento de los bosques primarios.</p>
	<p>Plan padrino escuela-familia como red de apoyo para la recuperación y protección de nacimientos y zonas verdes.</p>	<p>Que las instituciones educativas, con el soporte de redes de apoyo, promuevan la reforestación en zonas áridas o sectores de recuperación de nacimientos y fauna.</p>
	<p>Campañas educativas acerca del uso y cuidado de las aguas subterráneas.</p>	<p>Diseño y ejecución de campañas masivas que promuevan el uso y cuidado de las aguas subterráneas.</p>
	<p>Implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias y plan de manejo ambiental aguas grises</p>	<p>Lograr que cada vivienda tenga un sistema de canales para recolección de aguas lluvias a través de un incentivo económico o del recurso como tal. Que se implemente como norma para las nuevas construcciones, recolección aguas lluvias y un sistema de tubería para recolectar aguas grises.</p>
	<p>Evaluación de los efectos del cambio climático sobre las aguas subterráneas del sistema acuífero de La Mesa de Los Santos.</p>	<p>Tener conocimiento de los posibles efectos del cambio climático sobre el sistema acuífero para estar preparados ante cualquier eventualidad y tomar medidas desde ahora.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA	PROGRAMA, PROYECTO, ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
3. Reducción de la contaminación del recurso hídrico subterráneo.	Saneamiento básico rural Sistemas de tratamiento de aguas residuales.	<p>Construcción o adecuación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales rurales en conjuntos y agrupaciones familiares, implementando sistemas adecuados con la participación activa de los usuarios, capacitándolos en los procesos constructivos y de mantenimiento de dichas unidades.</p> <p>Que se reglamente en los permisos para perforación de pozos profundos como requisito un sello sanitario mínimo de 20 metros y la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales para asegurar y mantener el acuífero libre de contaminación.</p> <p>Que se implemente para los pozos profundos ya existentes en el caso de no tener sello sanitario se realice y se cuente con una supervisión de la corporación.</p>
	Monitoreo de la calidad y comportamiento del acuífero.	<p>Instalación de red de 80 piezómetros para el monitoreo de la calidad y comportamiento dinámico de acuíferos. Al menos deben tener 50 m de profundidad.</p> <p>Estudios con isotopos Radiactivos en las zonas de recarga con monitoreo para verificar la procedencia de recurso hídrico subterráneo en La Mesa de Los Santos.</p>
	Implementación de prácticas para el manejo y disposición adecuada de los residuos sólidos en la zona rural.	Mediante campañas intensivas de sensibilización y capacitación incorporar técnicas de manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos entre las comunidades, de tal forma que se minimicen los impactos negativos por enterrar basuras, botaderos a cielo abierto a las corrientes y al terreno. De estos procesos se podrían obtener abonos orgánicos.
	Manejo adecuado de captaciones de agua subterránea.	Se deben seguir los términos de referencia claros en los procesos constructivos, de sistemas de explotación de aguas subterráneas, realizar capacitaciones a los usuarios constructores en materia de construcción, manejo y mantenimiento de las mismas.
4. Gestión de la oferta hídrica subterránea.	Perforaciones para acueductos Veredales	Según el resultado de las Tomografías 2D se tiene como recomendación hacer Pozos profundos para abastecer las poblaciones más vulnerables como lo son la cabecera municipal de los Santos y las veredas ubicadas en las zonas bajas del municipio.
	Cuantificación y administración de la demanda de agua subterránea.	<p>Cuantificar la demanda requerida para el desarrollo de las actividades de los principales usuarios del recurso hídrico y legalizar usuarios.</p> <p>Desarrollar un sistema de seguimiento a las captaciones y demanda, buscando que esta no supere el volumen de agua extraíble.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA	PROGRAMA, PROYECTO, ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
	Delimitación y protección de zonas de recarga de La Mesa de Los Santos.	La calidad y cantidad del agua subterránea están estrechamente relacionadas con el uso del suelo que se da en las zonas de recarga; si se tienen identificadas y delimitadas de estas zonas se pueden tomar medidas que permitan la sostenibilidad del sistema acuifero, además de impedir efectos negativos sobre éste, dando un control a la expansión de la frontera agropecuaria y avícola establecida en la zonificación ambiental y la clasificación de los suelos del EOT.
5. Fortalecimiento a la gobernabilidad y gobernanza.	Personal de monitoreo y atención al usuario. Mecanismos de control y vigilancia.	Supervisión técnica por parte de un ingeniero en áreas afines al recurso hídrico para verificar el cumplimiento de las normas técnicas de construcción de pozos profundos en la fase de completamiento y construcción del sello sanitario.
		Las empresas de consultoría para la exploración de aguas subterráneas deben estar evaluadas y certificadas en las normas ISO 9001, ISO 14001, OSHAS 18001 para garantizar la calidad, seguridad del personal y la protección al medio ambiente.
		Las empresas perforadoras deben estar certificadas en ISO 9001, ISO 14001, OSHAS 18001 para garantizar calidad, seguridad del personal y la protección al medio ambiente.
		Control eficiente en inspección a las Avícolas.
		Contar con un día por semana con la presencia de un técnico de la corporación en el sector de La Mesa de Los Santos jurisdicción CAS para atender las necesidades del sector.
	Alianza CAS y CDMB.	Organización de proyectos y programas en pro de protección en las zonas de recarga del agua subterránea en La Mesa de Los Santos.
	Gobernanza del agua subterránea.	Suspensión de la construcción de cisternas, lagos y pozos anillados.
		Creación de una cartilla instructiva para la construcción de pozos profundos.
		Regulación en costos de permisos y concesiones.
	Fortalecimiento a las organizaciones comunitarias para la gestión del recurso hídrico.	Optimizar el proceso de los trámites de permisos y concesiones.
Capacitación y cualificación de las organizaciones comunitarias y líderes sociales.		

8. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la práctica, las observaciones efectuadas en campo, la interpretación de las Tomografías Eléctricas 2D y de los Sondeos Eléctricos Verticales adquiridos en la fase de recopilación bibliográfica, realizados en el área de interés, se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones, como resultado de La Elaboración y Formulación del Plan de Manejo de Aguas Subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de Los Santos:

- En un marco geológico regional, corresponde a rocas sedimentarias y lo constituyen en su orden estratigráfico y parcialmente cubiertas por delgados cuerpos cuaternarios (suelos residuales), las Formación Jordán de edad Jurásico y ambiente continental; la Formación Los Santos de edad Cretácica inferior y ambiente continental; las Formaciones Rosablanca, Paja y Tablazo (no presentes en la zona de influencia del estudio geofísico) de edad Cretácica inferior y ambiente netamente marino, que geomorfológicamente constituyen la llamada Mesa de Los Santos.
- La información resultado de la interpretación por las Tomografías Eléctricas 2D presentan condiciones hidrogeológicas para la acumulación y movimiento de aguas subterráneas debido a su naturaleza estructural (fracturas y diaclasas que presentan las rocas cretácicas y jurásicas de las Formaciones Los Santos y Jordán respectivamente.
- Se establece que en la Mesa de Los Santos se presenta mayor potencial hidrogeológico asociado al Miembro Superior de la Formación Los Santos por tener una porosidad primaria media y porosidad secundaria alta, aumentando su permeabilidad. El Miembro Inferior aunque presenta baja porosidad primaria, aumenta su permeabilidad por el fracturamiento de la roca.
- La Mesa de Los Santos está afectada por una tectónica compresiva en bloques en las que predomina el fallamiento inverso, con pliegues abiertos de dirección

general Nor-Noroeste y NW. Las estructuras regionales predominantes son las Fallas del Suárez-Río de Oro y Bucaramanga - Santa Marta, las cuales generaron una porosidad secundaria debido al fracturamiento.

Sin embargo, el sector de La Mesa se encuentra afectado por una serie de fallas secundarias de diferente naturaleza, que desde el punto de vista hidrológico son importantes ya que controlan el comportamiento del flujo subterráneo. Este comportamiento estructural parece haber favorecido al sector del interés, el cual se encuentra enmarcado entre estas estructuras, facilitando la acumulación y movimiento del agua subterránea.

- Las secuencias estratigráficas de la Mesa de Los Santos presentan una distribución irregular de la permeabilidad, debido al grado de fracturamiento de las capas, por lo cual es difícil pensar en acuíferos tabulares de dimensiones definidas y confinados entre los estratos impermeables. Es por ello preferible referir a una serie de sectores porosos, saturados e interconectados por las fracturas. La explotación de agua subterránea a partir de estos cauces subterráneos puede tener buenos resultados si el pozo se localiza cerca de una de estas zonas porosas saturadas e interconectadas por fracturas o rocas alteradas.
- La mesa de los santos está ubicada en el sector del segundo enjambre o nido sísmico de mayor actividad en el mundo, el cual por su comportamiento puede causar cambios estructurales drásticos en las unidades hidrogeológicas, alterando la normal conducción y movimiento del flujo subterráneo entre sus diaclasas y fracturas generando un aumento, disminución o la pérdida total de la recarga de los acuíferos como ha sucedido en otros sectores del departamento cercanos a esta amenaza sísmica afectando los pozos profundos construidos.
- Hidrogeológicamente la Mesa de Los Santos se comporta como un acuífero abierto que no presenta recarga lateral sino aparentemente por escorrentía e infiltración, siendo el aporte la precipitación característica de la región, que surte las corrientes estacionarias, alimentando a los acuíferos superficiales o de los niveles freáticos presentes en las rocas alteradas o meteorizadas de la

Formación Los Santos.

- La zona de recarga para las aguas subterráneas profundas y presentes en las rocas cretácicas y jurásicas no alteradas, está dada por el agua proveniente del Macizo de Santander, la cual se desplaza por vasos comunicantes, generados por el alto tectonismo ocurrido en este sector de Santander, lo cual produjo fracturamiento y diaclasamiento profundo en las rocas cretácicas, jurásicas y precámbricas y por consiguiente se crearon al azar una serie de comunicaciones o laberintos para llevar el agua subterránea presente en las rocas cristalinas (metamórficas, ígneas y sedimentarias) a las rocas cretácicas y jurásicas presentes en este sector de La Mesa de Los Santos.

La otra razón para pensar en la recarga de las aguas subterráneas del Macizo de Santander es la existencia de pozos profundos saltantes, como por ejemplo entre otros el existente en la Finca Santa María La Negra, en la Vereda La Fuente, que a pesar de ser un pozo saltante tiene una producción alta, que en promedio es de un caudal de 16 l/s.

- Con lo expresado anteriormente es posible interpretar que existe poca conexión hidráulica de las aguas de escorrentía debidas a la precipitación, con posibles aguas subterráneas que pudiesen existir, porque la alteración de las rocas de la Formación Los Santos está generada a una alteración de arenas con matriz arcillosa que impide que la infiltración sea profunda, de lo anterior se puede deducir que existen mínimo dos tipos de acuíferos, uno superficial recargado por la precipitación que ocurre en las estaciones lluviosas en el sector La Mesa y el otro profundo alimentado desde el macizo de Santander por vasos comunicantes, como son las fallas geológicas, las fracturas y diaclasas.
- A partir de la integración de los métodos geofísicos (Sondeos Eléctricos Verticales, Tomografías Eléctricas 2D de la Fase I y Fase II, registros eléctricos de pozos), datos de aljibes e información litológica, se definen los niveles para el sector de acuíferos presentes en el municipio de Los Santos, sector La Mesa y se establece el espesor del basamento cretácico productor encontrando, entre 60 y 150 m de profundidad.

- Las perforaciones que se realicen en La Mesa de los Santos, municipio de Los Santos deben tener en su construcción un sello sanitario mínimo de 25 m de profundidad para preservar y garantizar la calidad del agua profunda que es menos susceptible a la contaminación.
- Las corrientes hídricas superficiales son de corta longitud, por la misma extensión de la Mesa, no mantienen una escorrentía permanente y son altamente represadas para el bombeo de estas aguas, según se observó durante la visita al sector de la quebrada la Cañada y quebrada La Honda.
- La agroindustria y la sub urbanización han generado una multiplicación de vertimientos sin manejo, pozos sépticos bien y mal manejados y otras soluciones anti técnicas. La fertilización de los potreros en las partes altas con gallinaza sin compostar genera fuertes problemas de olores ofensivos y de proliferación de la plaga de mosca hematófaga, al tiempo que refuerza la contaminación de las quebradas.
- El urbanismo, la producción agrícola y pecuaria, los Pozos sépticos en mal estado, el mal manejo de aguas residuales, el mal manejo de basuras y los pozos ilegales, inducen a la contaminación al agua subterránea.
- Todas las cañadas más importantes en el sector de La Mesa de los Santos, se encuentran establecidas con barreras de represamiento y como resultado se tiene hoy en día una modificación en los regímenes hídricos y afectando los corredores naturales de las especies.

BIBLIOGRAFÍA

APARICIO, F. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa.1989

BEAR, J. Hydraulics of Groundwater. Mc Graw Hill, New York.1979

CANTOS F. Tratado de Geofísica Aplicada.1978

CUSTODIO, E., Y LLAMAS, M. Hidrología Subterránea. Editorial Omega S. A. Barcelona. Tomos I y II.1978

DE WIEST, R. Geohidrology. Editorial Willey, New York. 1965

INGEOEXPLORACIONES S. A. S. Informe Primera Fase para el Plan de Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el sector de La Mesa de Los Santos, Municipio de los Santos. Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander "CAS".2015

INGEOMINAS - UIS. Proyecto de investigación geológica e hidrogeológica en La Mesa de los Santos, sector Noreste de Curití y borde occidental del Macizo de Santander, Departamento de Santander. Estratigrafía de la Formación los Santos (Mesa de Los Santos, Departamento de Santander). 2008

INGEOMINAS-UIS. Investigación Geológica e Hidrogeológica en La Mesa de los Santos y sector Nordeste de Curití. Proyecto de investigación geológica e hidrogeológica en La Mesa de los Santos, Sector Nordeste de Curití y borde occidental del Macizo de Santander, Departamento de Santander. ANEXO 6C.

Mapas Geológicos escala 1.25.000 de las planchas 120-IV-A, 120-IV-B, 120-IV-C, 120-IV-D, 135-II-A, 135-II-B, 135-II-D, 135-IV-B, 136-I-C. 2008

INGEOMINAS. Programa de Exploración de Aguas Subterráneas. Bogotá D. C. 2004

INGEOMINAS. Mapa Geológico de Colombia, 1 plano.1976

INGEOMINAS. Mapa Geológico Generalizado de Santander.1998

VELANDIA F. Análisis de fracturas para la exploración de aguas subterráneas en el centro de Santander, Ingeominas. 2010

DÍAZ E. Análisis preliminar del potencial hidrogeológico en la mesa de los santos, región central del departamento de Santander, trabajo de grado Universidad industrial de Santander. Bucaramanga. 2008

RINCON M, Estratigrafía de la Formación Los Santos en las secciones estratigráficas la Punta, Carrizal (mesa de los santos) y la Cuevana (Curití), Departamento de Santander, Trabajo de Grado Universidad industrial de Santander, Bucaramanga.2008

CONTRERAS N, Análisis de fracturamiento presente en la formación los santos al noreste y centro de la mesa de los santos, Departamento de Santander, Trabajo de Grado Universidad industrial de Santander, Bucaramanga.2008

DÍAZ E; PINTO J; VELANDIA F. Evaluación hidrogeológica preliminar de las unidades geológicas de los santos Santander. Ingeominas. 2010




KOEFOED, Otto. Geosounding Principles, 1 Resistivity Sounding Measurements. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam. 1979

MADS. Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos, Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014

TNO. Conferencias Curso Evaluación de Recursos de Aguas Subterráneas. Bogotá. 1988

WANDURRAGA, Carlos M. Estudios Geoeléctricos realizados en la Mesa de Los Santos, municipios de Los Santos y Piedecuesta:, ingeoExploraciones S.A.S. 2010-2015

ANEXO A. PLAN DE TRABAJO

  				
PLAN DE TRABAJO PMA MESA DE LOS SANTOS FASE II				
FASE	OBJETIVO DE LA FASE	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PRODUCTO
A P R E S T A M I E N T O	Construir el escenario técnico, plan de trabajo, participación social y logística del PMAA, que sirva de base para complementar las demás fases	Elaboración del plan de trabajo	Elaboración del plan de trabajo definiendo los propósitos, objetivos, actividades, alcances y productos para cada una de las fases del PMAA, mediante una herramienta que los presente de manera sistemática y ordenada	Documento con el plan de trabajo
		Identificación, caracterización de actores	Identificación, caracterización, priorización y mapeo de los actores clave a partir de información primaria y secundaria	Documento con la identificación y caracterización de actores
		Recopilación y análisis de información existente	Recopilar y analizar la información existente en las diferentes instituciones de orden local.	Documento con los resultados del análisis de información existente, tanto cartográfica como documental, con sus respectivos anexos dentro de los cuales debe estar el Formato de análisis de información existente
			Recopilar y consolidar la información existente sobre gestión del riesgo, se recogerán los estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos.	
Análisis situacional	Identificar preliminarmente y de manera participativa, los problemas, conflictos y potencialidades en la Mesa de los santos y su localización.	Documento con análisis situacional inicial, las necesidades de información y la relación entre ocupación del territorio y los escenarios de riesgos, Salida cartográfica con la construcción del análisis situacional inicial con actores.		

A P R E S T A M I E N T O		Actividades complementarias	Diseñar y llevar a cabo como mínimo tres (3) espacios de participación para socializar con los actores de la Mesa de los Santos, los aspectos normativos y propósitos generales de la elaboración del PMAA. Así mismo, recopilar los aportes para el plan de trabajo, plan operativo del proyecto y el análisis situacional .	informe con los resultados de desarrollo de los escenarios de participación (con actores y retroalimentación técnica) con sus respectivas memorias en las cuales se deberán incluir, como mínimo, los siguientes elementos: relatoría, videos, fotografías y demás, que evidencien el proceso participativo
			Documentar los aportes recibidos en los escenarios de participación implementados	
			Elaborar los informes que recojan los resultados de la implementación de los procesos de la fase de aprestamiento	Documento General con los resultados de la Fase de Aprestamiento, documento Ejecutivo.
			Diseñar y producir las herramientas que permitan la divulgación de la fase de aprestamiento del PMAA.	Herramientas y material divulgativo diseñado y difundido en la fase de aprestamiento
			Estrategia de Auditorías visibles	Registros de asistencia a actividad, registro fotográfico
D I A G N O S T I C O	Se elabora o actualiza la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, se identifican los conflictos y problemáticas, se realizan el análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y, la identificación y análisis de riesgos de las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos		Compilación, análisis e interpretación de la información geológica disponible obtenida del Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Academia, Asociaciones Geológicas y/o investigadores debidamente avalados por la autoridad Geológica Nacional. Mediante esta labor se identificaran y caracterizaran las unidades crono y litoestratigráficas y los diferentes eventos tectono-estructurales que los afecten; información que debe consolidarse a escala 1:100.000, ó 1:50.000 si el consultor lo considere pertinente, entendiendo que en la actualidad no todo el país se encuentra cubierto con información geológica a escala 1:100.000, en este caso se usará la que se encuentra disponible a la mejor escala incluyendo la información departamental si existe.	Memoria técnica que contiene la descripción, caracterización y análisis de la información geológica para fines de ordenamiento . Debe contener como mínimo la siguiente información: Marco geológico regional (se debe incluir una descripción de la secuencia estratigráfica y unidades geológicas correspondientes, geología estructural regional de pliegues, fallas y lineamientos y la evolución geológica regional).

D I A G N O S T I C O	<p>Se elabora o actualiza la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, se identifican los conflictos y problemáticas, se realizan el análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y, la identificación y análisis de riesgos de las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos</p>		<p>Realizar 3 tomografías 2D en una longitud de 1100 metros, que permita evaluar las profundidades, espesores y extensión de acuíferos, capas semipermeables impermeables, nivel freático, profundidad del basamento mediante estudios geo eléctricos para el conocimiento de aguas subterráneas en el sector de la mesa en el municipio de los santos jurisdicción de la CAS.</p>	<p>Documento con el resultado de las tomografías y su interpretación.</p>
			<p>Identificar los usos actuales del recurso hídrico subterráneo sobre la base de la información disponible (inventario de puntos de agua o información secundaria), y cuando la esta información lo permita, los usos potenciales con base en la oferta y/o calidad del recurso</p>	<p>Identificación de los usos actuales del recurso hídrico subterráneo y usos potenciales con base en la oferta o calidad del recurso, cuando la información disponible lo permite</p>
			<p>Cuando los resultados del Balance Hídrico definido en el componente hidrológico del PMAA lo permitan, estimar la oferta hídrica subterránea renovable; de lo contrario y en función de la información disponible su estimación se definirá teniendo en cuenta los métodos empíricos descritos en la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Agua Subterránea.</p>	<p>Estimación de la oferta hídrica subterránea</p>
			<p>Estimar la calidad de las aguas subterráneas a partir de los resultados análisis de diez muestras de aguas de diferentes pozos e información disponible (expedientes de concesiones de agua subterránea; parámetros fisicoquímicos de campo registrados en los inventarios de puntos de agua; estudios o investigaciones que traten este aspecto)</p>	<p>Documento Estimación de la calidad de las aguas subterráneas a partir de la información disponible.</p>

D I A G N O S T I C O	<p>Se elabora o actualiza la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, se identifican los conflictos y problemáticas, se realizan el análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y, la identificación y análisis de riesgos de las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos</p>		<p>Evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación de aguas subterráneas teniendo en cuenta información disponible relacionada con el nivel freático, geología y suelos, y los lineamientos de la Propuesta Metodológica para la Evaluación Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación.</p>	<p>Resultados de la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación teniendo en cuenta información disponible</p>
			<p>Analizar, con base en la información existente, los criterios de priorización de acuíferos objeto de Planes de Manejo Ambiental o de Medidas de Manejo Ambiental (agotamiento o contaminación del agua subterránea; cuando el agua subterránea sea la única y/o principal fuente de abastecimiento para consumo humano; cuando por sus características hidrogeológicas el acuífero sea estratégico para el desarrollo socio-económico de una región; existencia de conflictos por el uso del agua subterránea; cuando se requiera que el acuífero sea la fuente alterna por desabastecimiento de agua superficial; debido a riesgos antrópicos o naturales). Éstas se convertirán en zonas prioritarias para la Formulación de Medidas de Manejo Ambiental de Acuíferos de acuerdo con los lineamientos de la Guía Metodológica respectiva.</p>	<p>Análisis de los criterios de priorización de acuíferos objeto de Planes de Manejo Ambiental o de Medidas de Manejo Ambiental y la definición de zonas prioritarias para la Formulación de Medidas de Manejo Ambiental de Acuíferos</p>
			<p>Identificar las necesidades de información y conocimiento del componente hidrogeológico con fines del posterior desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual y plan de manejo ambiental de acuíferos, integrado con las otras temáticas, a ser planteadas en la fase de formulación</p>	<p>Identificación de necesidades de información y conocimiento del componente hidrogeológico con fines del posterior desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual y plan de manejo ambiental de acuíferos, integrado con las otras temáticas a ser planteadas en la fase de formulación.</p>

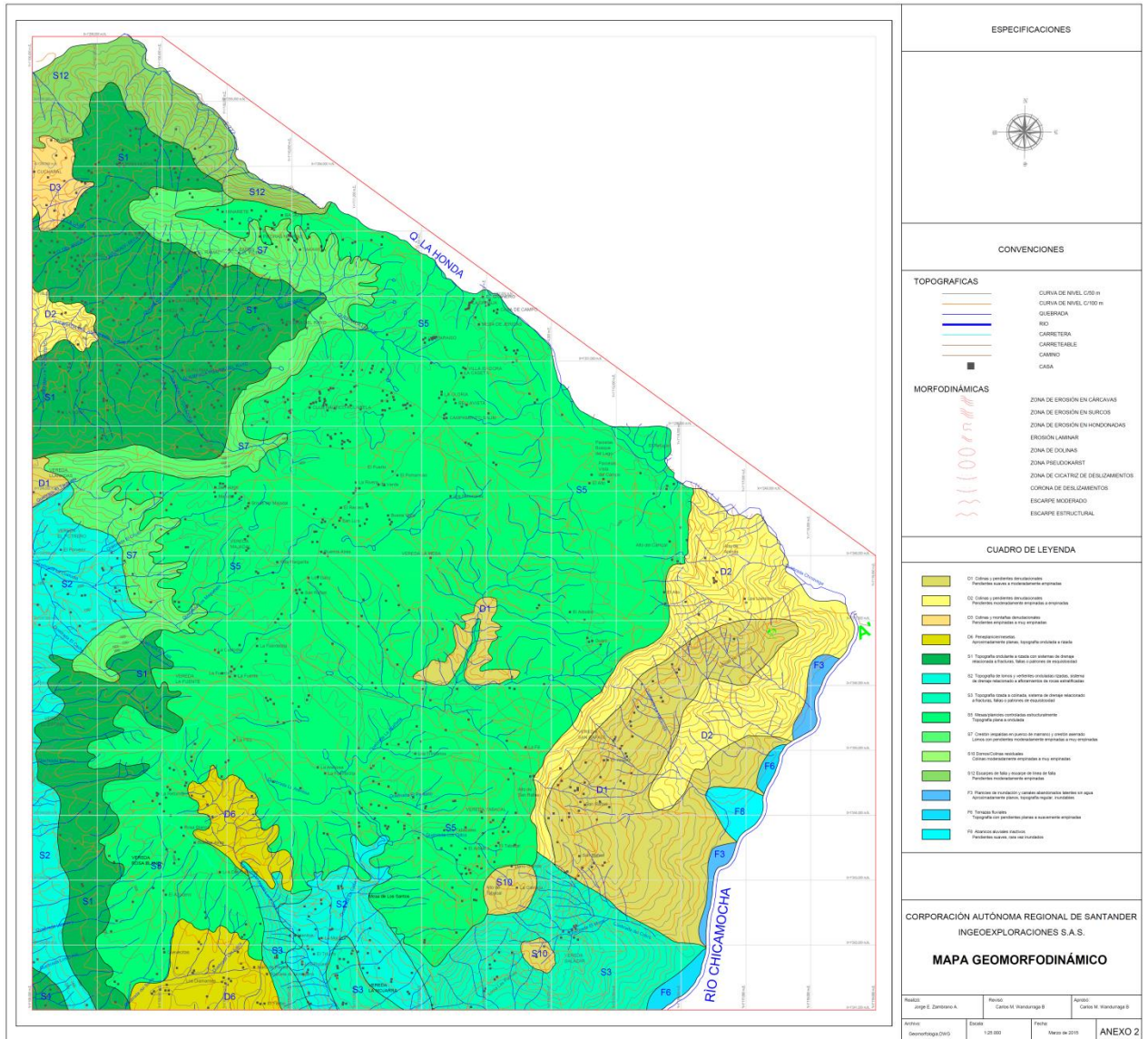
D I A G N O S T I C O	<p>Se elabora o actualiza la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, se identifican los conflictos y problemáticas, se realizan el análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y, la identificación y análisis de riesgos de las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos</p>		<p>A partir de la calidad de la información disponible, estimar la demanda hídrica sobre la base de extracciones del recurso hídrico desde las principales actividades socioeconómicas en la cuenca. Cuando aplique, considerar las actividades relacionadas en el Decreto 3930 de 2010: consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético, pesca, maricultura y acuicultura, navegación y transporte acuático, además de considerar sectores específicos como la minería y la generación hidroeléctrica. Considerar por lo menos la información del Estudio Nacional del Agua de 2010 y otras fuentes de información regional válidas para la escala de trabajo (como mínimo Corporación Autónoma Regional).</p>	<p>Estimación de la demanda hídrica sectorial y total para los niveles de detalle logrados de acuerdo con la información disponible</p>
			<p>A partir de información disponible, identificar las actividades que se desarrollan en la Mesa de los Santos jurisdicción CAS, por sector productivo (industrial, comercial y de servicios), que generan vertimientos de aguas residuales y los sistemas de manejo y disposición final (Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales).</p>	
			<p>Describir y analizar los factores de contaminación en aguas y suelos asociados al manejo y disposición final de residuos sólidos en zona rural, centros poblados y cabeceras municipales en la cuenca (enterramiento, quema, cielo abierto, relleno o aprovechamiento).</p>	

D I A G N O S T I C O	Se elabora o actualiza la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, se identifican los conflictos y problemáticas, se realizan el análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y, la identificación y análisis de riesgos de las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos	Caracterización de las condiciones sociales, culturales y económicas	Caracterizar el sistema social de la Mesa de los Santos jurisdicción CAS teniendo en cuenta los lineamientos establecidos para el desarrollo del componente social	Documento técnico con la caracterización sociocultural. Mapa social, el cual debe incluir: densidad demográfica, infraestructura básica de servicios identificada en la escala de trabajo y la división veredal proporcionada por las oficinas de planeación de los municipios que hacen parte de la PMAA
		Usos del suelo y el Agua	Caracterizar los conflictos generados por el uso inadecuado de la tierra acorde al análisis de capacidad de uso (sobrecapacidad o subutilización)	Documento técnico con los resultados de la evaluación y análisis de conflictos generados por el uso de la tierra acorde al análisis de capacidad de uso, el uso del recurso hídrico y la pérdida de cobertura natural en áreas y ecosistemas estratégicos
			Caracterizar los conflictos generados por uso del recurso hídrico a partir de la evaluación de indicadores de Uso del Agua	conflictos por el uso del agua
		Síntesis ambiental	A partir del análisis situacional, priorizar y localizar los principales problemas y conflictos que afectan la disponibilidad y calidad de los recursos naturales renovables.	Documento técnico con los resultados de la síntesis ambiental de la Mesa de los Santos Jurisdicción que contenga la priorización de problemas y conflictos, identificación y descripción de áreas críticas y la consolidación de indicadores de línea base del diagnóstico.

D I A G N O S T I C O	Se elabora o actualiza la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, se identifican los conflictos y problemáticas, se realizan el análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y, la identificación y análisis de riesgos de las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos	Actividades complementarias	Diseñar y llevar a cabo el diagnóstico con la participación de actores. Se deberá concertar con el equipo técnico de la comisión conjunta el número mínimo de acompañamientos en que los actores participarán para el levantamiento de información del Diagnóstico y la configuración de los productos de los diferentes componentes temáticos del mismo.	Informe con los resultados del desarrollo de los escenarios de participación y actividades divulgativas, realizados en la fase diagnóstica; donde se incluya como mínimo los siguientes elementos: memorias, relatoría, videos, fotografías y demás que evidencien el trabajo realizado y de manera particular el aporte de los actores en el trabajo de campo
			Diseñar y llevar a cabo un (1) espacio de participación para socializar los avances del diagnóstico con los actores de la Mesa de los Santos Jurisdicción CAS y recibir los aportes frente al mismo, de los cuales dos se utilizarán para poner en funcionamiento de la instancia formal consultiva.	
			Documentar los escenarios de participación realizados en dicha fase y los aportes de los actores	
			Documentar los aportes recibidos por los diferentes actores, en relación a la identificación de áreas críticas y priorización de problemas y conflictos	Documento con los aportes recibidos por las diferentes instancias participativas y la autoridad ambiental con relación a la identificación de áreas críticas y priorización de problemas y conflictos
			Diseñar y producir las herramientas que permitan la divulgación de la fase de diagnóstico,	Herramientas y material divulgativo diseñado y difundido en la fase de aprestamiento
			Estrategia de Auditorías visibles	Registros de asistencia a actividad, registro fotográfico

F O R M U L A C I O N		Diseño del Programa de Seguimiento y Evaluación del PMAA	Diseñar y estructurar el Programa de Seguimiento y Evaluación del PMAA el cual debe comprender: el análisis de la información en su totalidad (programas, proyectos y actividades); la estructura para la planificación e implementación del plan; usuarios y necesidades; sistemas de información existentes; vacíos de información; selección de indicadores; identificación de datos para el diseño y sistema de procesamiento y colección; diseño del flujo de la información, análisis, informes y retroalimentación; el plan de trabajo y presupuesto para las acciones de seguimiento y evaluación	Documento con el Programa de Seguimiento y Evaluación del PMAA
			Diseñar y llevar a cabo como mínimo un (1) escenario de retroalimentación técnica con la Comisión Conjunta para socializar los resultados y productos de la fase de formulación	
			Documentar los aportes recibidos por los actores clave, respecto a la estructura del componente programático del PMAA	Documento con los aportes recibidos por las diferentes instancias participativas
			Consolidación y estructuración del documento Plan de Manejo Ambiental de Agua subterránea, con sus respectivos documentos técnicos de soporte, anexos.	Documento PMAA
			Diseñar y producir las herramientas que permitan la divulgación de la fase de formulación.	Herramientas y material divulgativo diseñado y difundido en la fase de prospectiva y zonificación
			Estrategia de Auditorías visibles	Registros de asistencia a actividad, registro fotográfico

ANEXO B. MAPA GEOMORFODINAMICO



ESPECIFICACIONES



CONVENCIONES

- TOPOGRAFICAS**
- CURVA DE NIVEL C/50 m
 - CURVA DE NIVEL C/100 m
 - GUERRADA
 - RIO
 - CARRETERA
 - CARRETERABLE
 - CAMINO
 - CASA
- MORFODINAMICAS**
- ZONA DE EROSION EN GARGANAS
 - ZONA DE EROSION EN SURCOS
 - ZONA DE EROSION EN HORCONADAS
 - EROSION LAMINAR
 - ZONA DE DOLINAS
 - ZONA PSEUDOKARST
 - ZONA DE CICATRIZ DE DESLIZAMIENTOS
 - CORDONA DE DESLIZAMIENTOS
 - ESCARPE MODERADO
 - ESCARPE ESTRUCTURAL

CUADRO DE LEGENDA

- D1 Colinas y cerros de inclinaciones moderadas a empinadas. Pendientes moderadamente empinadas a empinadas.
- D2 Colinas y cerros de inclinaciones moderadas a empinadas. Pendientes moderadamente empinadas a empinadas.
- D3 Colinas y cerros de inclinaciones moderadas a empinadas. Pendientes empinadas a muy empinadas.
- D4 Pseudokarst: "Cimentaciones" de tipo, topografía ondulada y ondulada.
- S1 Topografía ondulada y ondulada con valles de erosión moderada a fuerte, talas o cañones de erosión moderada.
- S2 Topografía de lomas y cerros ondulados (capas), ondulada de forma dispersa y dispersión de tipo moderada.
- S3 Topografía ondulada y ondulada, valles de erosión moderada a fuerte, talas y cañones de erosión moderada. Topografía plana a ondulada.
- S4 Topografía ondulada y ondulada, valles de erosión moderada a fuerte, talas y cañones de erosión moderada. Topografía plana a ondulada.
- S5 Cerros empinados en punto de relieve y centro serrado. Cerros empinados moderadamente empinados a muy empinados.
- S6 Cerros empinados moderados a muy empinados. Cerros empinados moderadamente empinados a muy empinados.
- S7 Cerros empinados moderados a muy empinados. Pendientes moderadamente empinadas.
- F1 Planicie de inundación y campos aluviales moderados en aguas moderadamente altas, topografía ligera, ondulada.
- F2 Topografía ligera. Topografía con pendientes planas a moderadamente empinadas.
- F3 Planicie aluvial moderada. Planicie aluvial, muy alta y turbada.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER
INGEÓEXPLORACIONES S.A.S.
MAPA GEOMORFODINÁMICO

Realizó: Jorge E. Zambrano A.	Revisó: Carlos M. Manabunga B.	Aprobó: Carlos M. Manabunga B.
Autores: Geomorfología (CIV)	Escala: 1:25,000	Fecha: Marzo de 2010

ANEXO 2

ANEXO C. MAPA HIDROGEOLÓGICO CON TOMOGRAFÍAS 2D Y RESULTADOS DEL FORMULARIO ÚNICO NACIONAL DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA (FUNIAS)

