

**INSTITUTO DE INVESTIGACION E INFORMACION  
GEOCIENTIFICA, MINERO AMBIENTAL Y NUCLEAR  
INGEOMINAS**

**PROYECTO**

**ATLAS DE AGUAS SUBTERRANEAS DE COLOMBIA  
EN ESCALA 1: 500.000**

**MEMORIA TECNICA DE LA PLANCHA 5-04  
VERSION FINAL**

**Compilada por:  
Gloria Hincapié Vélez  
Alcides Huguet Granados**

**Bogotá, Marzo de 2003**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. GENERALIDADES .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. LOCALIZACIÓN.....	3
1.3.1. <i>Provincias Hidrogeológicas</i> .....	5
1.3.1.1. Provincia Hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica .....	5
1.3.1.2. Provincia Hidrogeológica Costera-Vertiente Atlántica .....	5
1.3.1.3. Provincia Hidrogeológica Costera-Vertiente Pacífica.....	6
1.3.1.4. Provincia Hidrogeológica Del Amazonas .....	6
1.3.1.5. Provincia Hidrogeológica Del Orinoco.....	6
1.3.1.6. Provincia Hidrogeológica Del Escudo Septentrional .....	7
1.4. POBLACIÓN.....	7
1.5. INFRAESTRUCTURA .....	7
1.6. BASE TOPOGRÁFICA .....	7
<b>2. ASPECTOS HIDROCLIMATOLÓGICOS .....</b>	<b>8</b>
2.1. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA .....	11
2.1.1. <i>Aguas superficiales</i> .....	12
<b>3. GEOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
3.1. GENERALIDADES .....	15
3.2. DENSIDAD DE INFORMACION .....	15
3.3. MARCO GEOTECTONICO REGIONAL .....	15
<b>4. HIDROGEOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
4.1. GENERALIDADES .....	19
4.2. DENSIDAD DE LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA .....	19
4.3. METODOLOGIA .....	19
4.3.1. <i>Correlación Cronoestratigráfica E Hidrogeológica</i> .....	21
4.3.2. <i>Unidades Hidrogeológicas</i> .....	25
4.3.2.1. Acuíferos Cuaternarios .....	25
4.3.2.1.1. Acuíferos Cuaternarios Someros – Qal(5) .....	25
4.3.2.1.2. Acuíferos Cuaternarios Profundos .....	27
- Acuífero Morrosquillo – Qal(10) .....	27
- Acuífero Rotinet – Qtz(6).....	28
- Acuífero Cesar – Qal(6) .....	29
- Acuífero Zona Bananera de Santa Marta – Qal(3) .....	30
- Acuífero Ariguani – Qal(7).....	31
- Acuífero La Mojana – Qal(9).....	31
- Acuífero Betulia Arenoso – Qal(8) .....	32
4.3.2.2. Acuíferos y Unidades Confinantes del Terciario .....	33
- Acuífero Arroyo Grande – NgQt(1) .....	34
- Acuífero Popa - NgQt(2).....	35
- Acuífero Morroa – NgQp(1) .....	35
- Acuífero Necesidad – NgQp(2).....	37
- Acuífero Sabanalarga – NgQp(3).....	37
- Acuífero Chivolo – Ngm(2) .....	37
- Acuífero Fundación - Ngm (3).....	38
- Acuífero Tubará – Ngm(4).....	39
- Acuífero Cuesta – Ngm(5) .....	39
- Acuífero Guayabo - Ngc .....	41
- Acuífero Cerrito – Ng(1).....	41

- Acuífero Toluviejo – PgNgm(1) .....	42
- Acuífero Maco – PgNgm(1).....	42
4.3.2.3. Acuíferos y Unidades Confinantes del Cretáceo.....	43
- Acuífero La Luna - Kism - Ksm.....	43
- Acuífero Cogollo - Kit .....	45
4.3.3. <i>Regiones Acuíferas con Buenas Posibilidades de Explotación</i> .....	45
4.3.3.1. Acuífero Arroyo Grande .....	45
4.3.3.2. Acuífero Cesar .....	46
4.3.3.3. Acuífero Zona Bananera de Santa Marta .....	46
4.3.3.4. Acuífero Ariguani .....	46
4.3.3.5. Acuífero Betulia Arenoso .....	47
4.3.3.6. Acuífero Morroa .....	47
4.3.3.7. Acuífero Cuesta .....	47
4.3.3.8. Acuífero La Luna.....	47
4.3.4. <i>Zonas Acuíferas con Explotación Intensiva</i> .....	48
4.3.4.1. Acuífero Cesar .....	48
4.3.4.2. Acuífero Morroa .....	48
4.3.5. <i>Regiones con Flujos Artesianos Surgentes</i> .....	49
<b>5. GEOELÉCTRICA .....</b>	<b>50</b>
5.1. GENERALIDADES .....	50
5.2. METODOLOGÍA.....	51
5.3. CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA, LITOLÓGICA E HIDROGEOLOGÍA .....	51
5.4. CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DE LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS.....	54
5.4.1. <i>Acuífero Magdalena</i> .....	54
5.4.2. <i>Acuífero Morrosquillo</i> .....	55
5.4.3. <i>Acuífero Arroyo Grande</i> .....	56
5.4.4. <i>Acuífero Cesar</i> .....	57
5.4.5. <i>Acuífero Zona Bananera de Santa Marta</i> .....	58
5.4.6. <i>Acuífero Ariguani</i> .....	59
5.4.7. <i>Acuífero Betulia Arenoso</i> .....	60
5.4.8. <i>Acuífero Morroa</i> .....	61
5.4.9. <i>Acuífero Sabanalarga</i> .....	63
5.4.10. <i>Acuífero Cuesta</i> .....	63
<b>6. HIDROGEOQUÍMICA.....</b>	<b>65</b>
6.1. GENERALIDADES .....	65
6.2. NIVEL DE INFORMACIÓN .....	65
6.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACUÍFEROS CUATERNARIOS SOMEROS. 66	
6.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACUÍFEROS CUATERNARIOS PROFUNDOS .....	68
6.5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACUÍFEROS Terciarios .....	69
6.6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACUÍFEROS CRETÁCEOS .....	70
<b>7. VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS .....</b>	<b>71</b>
7.1. MARCO TEÓRICO.....	71
7.1.1. <i>El método de indexación “GOD”</i> .....	71
7.2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	75
7.2.1. <i>Valoración de los parámetros de la metodología “GOD”</i> .....	75
7.2.2. <i>Zonificación del grado de vulnerabilidad</i> .....	76
7.2.3. <i>Evaluación y zonificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación</i> .....	76
7.2.3.1. <i>Acuíferos Cuaternarios</i> .....	80
7.2.3.1.1. <i>Acuíferos Cuaternarios Someros</i> .....	80

- Acuíferos Aluviales y de Terrazas Aluviales .....	80
7.2.3.1.2. Acuíferos Cuaternarios Profundos .....	81
- Acuífero Morrosquillo.....	81
- Acuífero Arroyo Grande .....	81
- Acuífero Rotinet.....	82
- Acuífero Cesar .....	82
- Acuífero Zona Bananera de Santa Marta.....	83
- Acuífero Ariguani .....	84
- Acuífero La Mojana .....	84
- Acuífero Betulia Arenoso.....	85
7.2.3.2. Acuíferos Del Terciario .....	86
- Acuífero del Popa.....	86
- Acuífero Morroa.....	86
- Acuífero Sabanalarga .....	87
- Acuífero Tubará .....	88
- Acuífero Chivolo.....	88
- Acuífero Cerrito .....	88
- Acuífero Cuesta.....	89
- Acuífero Fundación.....	90
- Acuífero Toluviejo .....	90
- Acuífero Maco .....	91
- Acuífero Necesidad .....	91
- Acuífero Guayabo .....	91
7.2.3.3. Acuíferos Del Cretácico.....	91
- Acuífero La Luna .....	91
- Acuífero Cogollo.....	92

**8. BIBLIOGRAFÍA..... 93**

## PARTICIPANTES

En la elaboración de la memoria y los mapas que hacen parte de ella para la plancha 5-04 participaron los siguientes profesionales:

Miriam Ríos Sánchez – Jefe de Proyecto de Aguas Subterráneas

Gloria Hincapié – Coordinación del desarrollo de las actividades y compilación del informe final

Alcides Huguett – Análisis Hidrogeológico y compilación del informe

Roberto Peláez – Análisis Hidrogeológico

Olga de Bermoudes – Aspectos Hidroclimatológicos

José Ever Marín – Caracterización Geoeléctrica

Francisco Mosquera – Caracterización Hidrogeoquímica

Esther Villamizar Mujica – Evaluación de la Vulnerabilidad de Acuíferos

## RESUMEN

El Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, presenta en forma resumida la situación de este recurso en el país, en cuanto a su localización y las características geomorfológicas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas plasmadas en mapas temáticos, los cuales cuentan con varios niveles de información que se representan en planchas a Escala 1:500000.

En la elaboración del Atlas, se ha utilizado como soporte la información generada de estudios hidrogeológicos locales y regionales realizados tanto por el Instituto como por otras entidades estatales y particulares, la cual ha sido compilada y analizada por el INGEOMINAS y consignada en los mapas temáticos.

Para cada una de las planchas que conforman el Atlas, en este caso la plancha 5-04, se presentan mapas con información gráfica referente a los temas de geología, hidrología, geoeléctrica, hidrogeoquímica, hidrogeología y vulnerabilidad de acuíferos. La memoria técnica por plancha, consta a su vez de varios capítulos que resumen las condiciones hidrogeológicas generales de los principales acuíferos de la zona.

La geología está basada en el mapa cronoestratigráfico del Atlas Colombiano de Información Geológico-Minera para Inversión (ACIGEMI), en escala 1:500.000, elaborado por INGEOMINAS, donde cada unidad puede representar una o varias formaciones geológicas.

El análisis de los aspectos hidrometeorológicos se realiza con base en las estaciones meteorológicas e hidrológicas que se encuentran ubicadas en el área de la plancha. Adicionalmente se presenta el Mapa de Zonificación Climática que es útil en la evaluación de los recursos hídricos disponibles.

La hidrogeología se representa mediante dos mapas, el Mapa de Unidades Hidrogeológicas y el Mapa de Estado del Recurso, los cuales a su vez tienen varios niveles de información. El Mapa de Unidades Hidrogeológicas, es el resultado del análisis del potencial para agua subterránea de formaciones geológicas de acuerdo con el predominio de rocas permeables y poco permeables.

Dentro del Mapa de Unidades Hidrogeológicas se presentan los pozos representativos de explotación de aguas subterráneas que caracterizan el acuífero, los pozos estratigráficos definiendo a profundidad la calidad del agua y los cálculos a nivel de pronóstico de recursos, reservas pasivas y la explotación de los principales acuíferos. Además se señalan las regiones con explotación intensiva, las zonas que presentan artesianismo y se representa la dirección del flujo subterráneo regional de los acuíferos aflorantes. La hidrogeología del subsuelo se muestra mediante un perfil hidrogeológico esquemático.

En el Mapa de Estado del Recurso se delimitan las áreas de recarga en superficie de los acuíferos a partir de los afloramientos de los mismos y de las zonas topográficamente más altas y se señalan las zonas con buenas posibilidades de explotación teniendo en cuenta el balance de recursos y reservas.

La caracterización geoelectrica se ha representado en un mapa con tres niveles de información, correspondientes a la localización de los sondeos eléctricos verticales representativos, las isolíneas de la base de los principales acuíferos y la localización de pozos con registros geofísicos.

La hidrogeoquímica consiste igualmente de un mapa con dos niveles de información, el primero representa los tipos de agua almacenados en los acuíferos someros, el segundo nivel de información señala la variación de la salinidad o mineralización del agua de los acuíferos someros a través de isolíneas definidas por el valor de los sólidos disueltos totales. Para los acuíferos profundos, los tipos de agua se representan mediante diagramas Pie y están incluidos dentro de la memoria técnica.

Por último, la vulnerabilidad se presenta en el Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación, elaborado siguiendo la metodología GOD, a través del análisis de tres parámetros: ocurrencia del agua subterránea, predominio litológico sobre el acuífero y nivel freático o profundidad del techo del acuífero. Dentro del texto se presentan los resultados del análisis de cada una de las tres componentes.

La caracterización de los acuíferos en los aspectos antes descritos plantea la utilidad del Atlas de Aguas Subterráneas para el servicio de los entes gubernamentales encargados de la planificación y ordenamiento territorial, para un mejor aprovechamiento de éste recurso, sin detrimento ni de su calidad ni de su cantidad.

Para la plancha 5-04 en particular, el área de análisis de información es de 69229 km<sup>2</sup>, en la cual se diferenciaron y caracterizaron cerca de 20 acuíferos principales y otros de menor rango, que en general se utilizan para el abastecimiento de la población, la agricultura y algunas industrias locales.

En la plancha 5-04 los depósitos no consolidados del Cuaternario ocupan gran parte de ésta y por lo general están asociados a ambientes de depositación fluvial, con excepción de aquellos cercanos a la línea costera. Estos depósitos conforman los Acuíferos Cuaternarios, divididos a su vez en Acuíferos Cuaternarios Someros y Acuíferos Cuaternarios Profundos.

Hacia el borde occidental de la plancha 5-04, ocurren acuíferos generalmente multicapas, compuestos por rocas semiconsolidadas del Terciario de origen fluvial y marino a transicional, constituidos por

intercalaciones de areniscas, conglomerados, calizas, limolitas y arcillolitas, junto con las unidades impermeables que las separan. Estos acuíferos en la parte plana, están cubiertos directamente por depósitos Cuaternarios permeables.

En el borde oriental de la plancha, afloran rocas carbonatadas del Cretácico depositadas en ambiente marino, representadas principalmente por calizas, constituyendo importantes acuíferos que hacia la parte plana del valle están cubiertos por formaciones semiconsolidadas del Terciario (algunas de ellas con capas de carbón), o directamente por depósitos del Cuaternario generalmente permeables.

Del recurso hídrico subterráneo en esta región, dependen en la actualidad una población de aproximadamente cuatro millones (4.000.000) de personas que la utilizan principalmente para el consumo humano, cifra que seguirá en aumento en el futuro, por lo cual se hace necesario planear la explotación sostenible del mismo, ya que en algunas regiones existe algún grado de afectación por una explotación no controlada y por contaminación antrópica.



## PRESENTACIÓN

El territorio colombiano está representado en 35 planchas topográficas en escala 1:500.000 según la base cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. De este número de planchas, 26 corresponden a la parte continental y 9 al mar territorial.

La forma de presentación y desagregación por planchas (según IGAC), introduce límites artificiales, establecidos por la base topográfica utilizada, los cuales no corresponden a los límites naturales de cuencas hidrogeológicas o de zonas acuíferas y no acuíferas.

La presente edición del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia en escala 1:500.000, muestra información integrada y depurada para ocho (8) de las planchas continentales con cinco temas principales tratados. Cada plancha viene acompañada de los mapas temáticos y de la memoria respectiva. Para la elaboración futura de las diez y ocho (18) planchas restantes, el proceso debe ir acompañado de la recolección de información en campo a partir de la cual se genere y consolide el conocimiento hidrogeológico de las mismas. Estas 18 serán incluidas en una edición posterior del Atlas.

Esta edición, corresponde a la primera fase del producto y será complementada, analizada y corregida en las próximas versiones, disponiendo de una mayor densidad y homogeneidad de información. Específicamente dentro del proyecto de Exploración y Evaluación de Aguas Subterráneas del INGEOMINAS se pretende lograr este objetivo mediante un cubrimiento sistemático del potencial hidrogeológico del país.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. GENERALIDADES

Para optimizar el manejo de los recursos hídricos subterráneos se necesita un adecuado conocimiento de su cantidad y calidad. Existe entonces la necesidad de una continua adquisición de información hidrometeorológica e hidrogeológica, junto con su permanente reevaluación. Más aún, el tener una actualización oportuna de la disponibilidad de agua subterránea, es uno de los requisitos para la asignación de las concesiones de agua y para el ajuste de incentivos económicos por su aprovechamiento y protección.

Las aguas subterráneas se han convertido en una importante fuente de suministro de agua potable, debido a ciertas características tales como su ocurrencia extensiva, grandes volúmenes almacenados y la protección natural que presentan frente a la contaminación y a la evaporación.

La importancia del almacenamiento hídrico subterráneo tiene relevancia particular en aquellas regiones sujetas a sequías fuertes y prolongadas como sucede en varios sectores de la costa norte de Colombia, donde el desarrollo de estas fuentes debe hacerse bajo criterios de uso eficiente y responsable del recurso, orientado a garantizar una gestión adecuada y una sostenibilidad en el largo plazo.

El agua subterránea tiene también su propio sistema de ocurrencia, siendo posible así un desarrollo programado, con una necesidad de tratamiento a veces mínima a casi nula. Las aguas subterráneas poco profundas que ocurren en regiones extensas pueden ser aprovechadas en forma económica por las comunidades locales utilizando pocos recursos humanos y tecnología simple. Los efectos ambientales de la explotación del agua subterránea son normalmente pequeños y generalmente menores que aquellos provenientes de la construcción de presas, embalses, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento o grandes acueductos.

Sin embargo, el uso extensivo e intensivo de las aguas subterráneas como fuentes de abastecimiento, puede dar origen a efectos adversos tales como la subsidencia de suelos o indirectamente la erosión del mismo. La conservación de la capacidad útil o reservas reguladoras puede plantear restricciones muy severas a la producción cuando la recarga natural o artificial del acuífero es limitada, comprometiendo entonces su cantidad para satisfacer los requerimientos de agua. Igualmente, debe tenerse en consideración la prevención de la contaminación como resultado de operaciones intensivas de extracción de aguas subterráneas.

Es por lo tanto indispensable un uso ordenado del agua superficial y subterránea en una cuenca dada, incluyendo la alternativa de su uso conjunto para optimizar propósitos múltiples.

INGEOMINAS, en cumplimiento de su Misión, desarrolla estrategias para consolidar el conocimiento en materia de aguas subterráneas del territorio nacional y mediante la información ordenada incentiva las actividades de exploración y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, con criterios de sostenibilidad, tanto desde el aspecto de calidad como de cantidad.

En Colombia se ha utilizado el agua subterránea desde los años de 1850, fundamentalmente para el consumo humano, a través de la construcción de captaciones artesanales, destacándose en este uso algunas poblaciones de la Costa Atlántica, surcadas por corrientes superficiales intermitentes. En la década del 50 se inician los primeros estudios hidrogeológicos y la construcción de pozos profundos, con equipos de perforación.

Para la plancha 5-04, se consolida e integra información que permite caracterizar desde diferentes aspectos los principales acuíferos del área, cada uno de los cuales se presenta en mapas temáticos. Esta información se convierte en un factor determinante que disminuye la incertidumbre del conocimiento del recurso hídrico subterráneo para el planificador, e incrementa la probabilidad de éxito en el desarrollo de las actividades relacionadas con la exploración regional y aprovechamiento de las aguas subterráneas.

La plancha 5-04 del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia cuenta con dos mapas de referencia: La base topográfica y el Mapa Geológico. Los diferentes aspectos a caracterizar se presentan de la siguiente manera:

1. Tema Hidrogeológico
  - 1.1 Mapa de Unidades Hidrogeológicas - Unidades acuíferas y no acuíferas, zonas con artesianismo y con explotación intensiva; líneas de flujo subterráneo regional; puntos representativos de agua subterránea; pozos estratigráficos, valor de recursos, reservas pasivas y explotación
  - 1.2 Mapa de Estado del Recurso - Areas de recarga en superficie, zonas con buenas posibilidades de explotación
2. Tema geofísico
  - 2.1 Mapa de Características Geoeléctricas – Sondeos eléctricos verticales representativos, Isolíneas de la base del acuífero y registros físicos de pozo
3. Tema Hidrogeoquímico
  - 3.1 Mapa de Tipos Geoquímicos de aguas subterráneas y Variación de sólidos disueltos totales en acuíferos someros
- 4 Tema de Vulnerabilidad

4.1 Mapa Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación – Niveles de información: Condición de acuífero, Predominio litológico sobre el acuífero y Profundidad de la tabla de agua o techo del acuífero.

5 Tema hidrológico

5.1 Mapa de Zonificación Climática

Toda la información se encuentra georreferenciada en el sistema ARC-INFO, sobre la base topográfica 1:500.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, 1972.

## **1.2. OBJETIVOS**

El Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, está dirigido a lograr los siguientes objetivos fundamentales:

- Entregar al país una versión cartográfica que refleje el estado del conocimiento actual del recurso hídrico subterráneo, en aspectos tales como calidad, cantidad y vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación.
- Orientar la exploración de las aguas subterráneas del país mediante la definición y priorización de áreas potenciales evaluadas cualitativamente (con base en estudios hidrogeológicos principalmente de carácter regional, ejecutados por el INGEOMINAS y otras entidades estatales y particulares).
- Identificar y caracterizar las regiones potencialmente acuíferas que sirvan de soporte para los proyectos considerados estratégicos en el desarrollo nacional.
- Actualizar el desarrollo de la Base de Datos Hidrogeológicos (BDH) para el servicio de los clientes corporativos y personas naturales, estimulando una participación significativa de la inversión privada, lo cual se logrará mediante un servicio de información ágil y confiable cuando la BDH se haya consolidado a plenitud.

## **1.3. LOCALIZACIÓN**

La plancha 5-04, una de las 35 planchas a escala 1:500.000 que conforman el territorio nacional, está localizada en la parte norte de la República de Colombia, dentro de las siguientes coordenadas planas: X=1´440.000 a 1´680.000; Y=835.000 a 1´165.000, teniendo como datum horizontal la ciudad de Bogotá (Figura 1).

# MAPA DE LOCALIZACIÓN PLANCHA 5-04

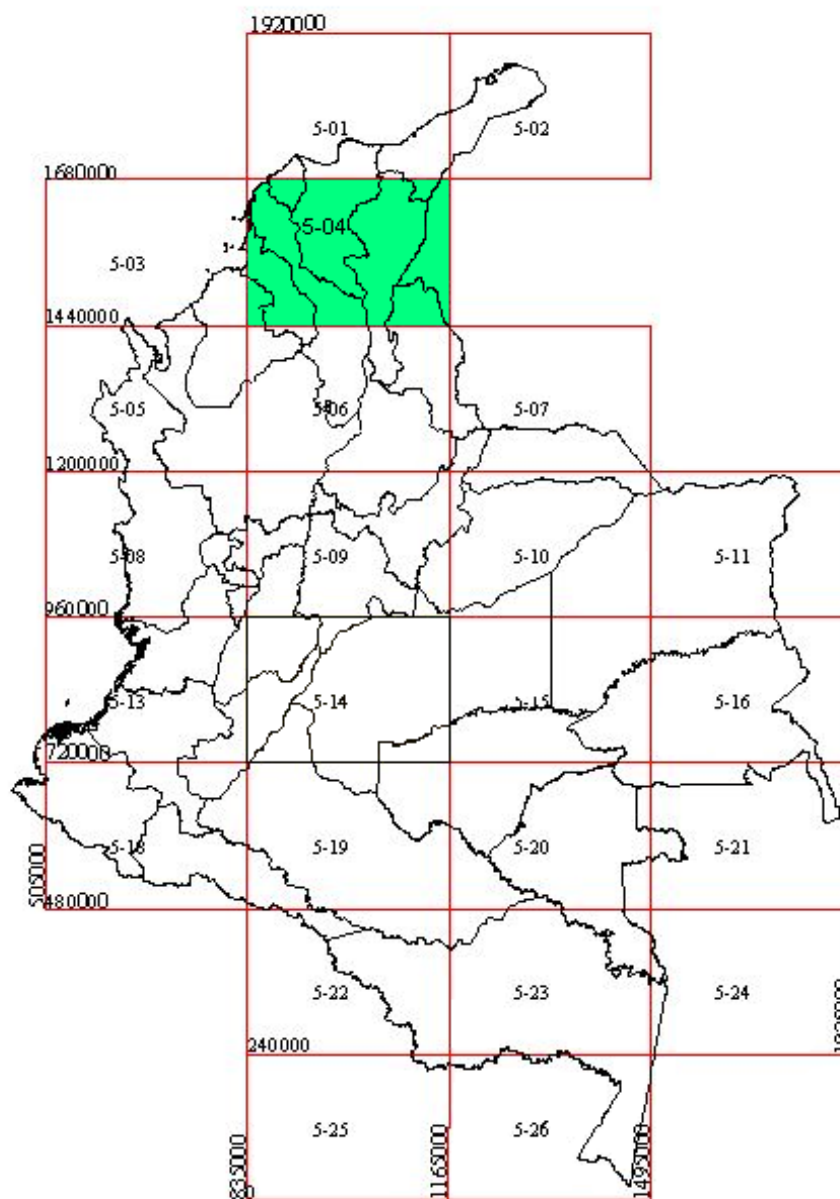


FIGURA N° 1

La plancha cubre un área de 69229 km<sup>2</sup> y abarca parcialmente los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena, Norte de Santander, Sucre y La Guajira.

El área ofrece una amplia variedad climática, morfológica y pedológica, con grandes extensiones de tierras útiles para la agricultura y la ganadería. Se destaca el intenso uso del agua subterránea tanto para el consumo humano como para el riego, especialmente en los departamentos de Sucre y Cesar.

### **1.3.1. Provincias Hidrogeológicas**

De acuerdo con la división por provincias propuesta por la UNESCO para el Mapa Hidrogeológico de Sur América, el territorio colombiano fue dividido en seis provincias hidrogeológicas que en orden de importancia son: Andina-Vertiente Atlántica, Costera-Vertiente Atlántica, Costera-Vertiente Pacífica, Amazonas, Orinoco y Escudo Septentrional.

#### **1.3.1.1. Provincia Hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica**

Esta provincia comprende el sistema montañoso centro occidental del país conformado por las cordilleras Occidental, Central y Oriental y ocupa la región entre los límites con el Ecuador en el sur hasta las estribaciones meridionales de la Serranía de Perijá en el norte, con un área aproximada de 297802 km<sup>2</sup>.

En esta provincia se presenta una gran variedad litológica consistente en sedimentos y rocas que van desde el Precámbrico hasta el Reciente. Estos sedimentos y rocas se presentan desde impermeables hasta de permeabilidad alta, siendo los valles y las mesetas los grandes centros de almacenamiento de agua tanto superficial como subterránea.

La provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica está constituida hacia su extremo occidental fundamentalmente por rocas ígneas ácidas y metamórficas del Precámbrico y Paleozoico y por rocas volcánicas básicas del Cretáceo. Hacia la parte central y oriental existen rocas sedimentarias marinas, cretáceas y terciarias y rocas continentales terciarias, en menor proporción aparecen sedimentos del cuaternario.

#### **1.3.1.2. Provincia Hidrogeológica Costera-Vertiente Atlántica**

Comprende la región costera del mar Caribe desde la frontera con Panamá al suroccidente hasta la península de La Guajira al norte, teniendo como límite

occidental la Serranía de Perijá y como límite meridional las estribaciones del sistema cordillerano andino. Tiene un área cercana a los 126925 km<sup>2</sup>.

La provincia Costera-Vertiente Atlántica está constituida en mayor proporción por rocas sedimentarias de edad terciaria de ambiente marino y por rocas ígneas y metamórficas que hacen parte del núcleo de la Sierra Nevada de Santa Marta y de los altos topográficos en la península de La Guajira.

#### **1.3.1.3. Provincia Hidrogeológica Costera-Vertiente Pacífica**

Comprende la costa pacífica colombiana y se desarrolla desde los límites con Panamá en el norte, hasta los límites con el Ecuador en el sur, teniendo como margen oriental las estribaciones de la Cordillera Occidental. Tiene un área de 82688 km<sup>2</sup> y carece de estudios hidrogeológicos.

La provincia Costera-Vertiente Pacífica está conformada por rocas volcánicas básicas del Terciario y primordialmente por rocas sedimentarias marinas de fosa profunda a somera del Terciario y sedimentos fluviales y transicionales del Cuaternario.

#### **1.3.1.4. Provincia Hidrogeológica Del Amazonas**

Cubre la parte suroriental del país con una extensión de 265780 km<sup>2</sup> teniendo como límites, al sur la frontera peruano-ecuatoriana, al norte los ríos Guaviare e Inírida, al occidente las estribaciones de la cordillera Oriental, al suroriente la frontera con Brasil y al oriente la separa de los límites con el Brasil la Provincia Hidrogeológica del Escudo Septentrional.

La provincia hidrogeológica del Amazonas está representada en menor proporción por rocas metasedimentarias y volcánicas ácidas del Precámbrico y sedimentarias consolidadas del Paleozoico y en mayor magnitud por rocas sedimentarias terciarias de ambiente continental y por depósitos fluviales y eólicos del Cuaternario.

#### **1.3.1.5. Provincia Hidrogeológica Del Orinoco**

Corresponde a los denominados Llanos Orientales de Colombia y tiene una extensión de 241678 km<sup>2</sup>. Está limitada al norte por la frontera venezolana, al sur por los ríos Guaviare e Inírida, al occidente por el piedemonte de la Cordillera Oriental y de igual forma que la anterior, al oriente está separada de la frontera venezolana por la provincia del Escudo Septentrional.

La provincia del Orinoco en su mayor parte se compone de sedimentos fluviales y eólicos del Cuaternario y en menor proporción por rocas cretáceas y terciarias hacia la Serranía de La Macarena.

### **1.3.1.6. Provincia Hidrogeológica Del Escudo Septentrional**

La provincia hidrogeológica del Escudo Septentrional está constituida por rocas ígneas, meta-ígneas y sedimentarias muy consolidadas del Precámbrico.

A pesar de que no existen estudios hidrogeológicos en esta área del país que cubre una extensión de 126875 km<sup>2</sup>, por el tipo de litología presente se infiere que la acumulación de agua subterránea es muy baja y por lo tanto las posibilidades acuíferas son remotas.

## **1.4. POBLACIÓN**

El área cubierta por la plancha 5-04 está medianamente poblada, con alrededor de 3'950.000 habitantes, concentrados principalmente en las ciudades capitales de los departamentos como Cartagena, Valledupar y Sincelejo y otras cabeceras municipales importantes como Corozal, Ovejas, Agustín Codazzi, Fundación y Tolú entre otras.

## **1.5. INFRAESTRUCTURA**

Las vías más importantes que unen las principales ciudades situadas en la plancha 5-04 son: la Troncal del Magdalena que une a Bogotá con el bajo Magdalena pasando por las poblaciones de Curumaní, Bosconia y Fundación. Al norte de Curumaní se desprende un ramal que une a las poblaciones de La Jagua de Ibirico, Agustín Codazzi, San Diego y va hasta Valledupar, siguiendo a La Guajira. En Bosconia se desprende otro ramal que une esta población con la ciudad de Valledupar. La Troncal Occidental une a Medellín con las ciudades de Sincelejo y Cartagena. Desde Cartagena se desprenden dos ramales que la comunican con Barranquilla, uno la Carretera al Mar que va bordeando el Mar Caribe y la Carretera de la Cordialidad.

Existen además una cantidad considerable de carreteras secundarias y carreteables en el resto de la plancha que unen diferentes poblaciones.

El transporte fluvial se realiza por los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge que unen los pueblos ribereños.

En cuanto a la energía eléctrica existe un buen cubrimiento con 89% en promedio. El servicio de agua potable por acueductos es bajo alcanzando en promedio un 61%, el cubrimiento por alcantarillado es aún más bajo con un 43%.

## **1.6. BASE TOPOGRÁFICA**

La escala de trabajo de esta plancha al igual que la de todo el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia es 1:500.000, para lo cual se tomaron las bases topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en dicha escala.



## 2. ASPECTOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

El clima es uno de los factores determinantes en la formación de los recursos hídricos de una región. Su relación con el sistema hídrico, ya sea superficial o subterráneo, se da a través del ciclo hidrológico, por consiguiente variaciones de las condiciones climáticas tanto en espacio como en tiempo afectan la disponibilidad hídrica.

Generalmente el clima se relaciona con las condiciones predominantes en la atmósfera que se describen a partir de un conjunto de variables climatológicas (principalmente la temperatura, precipitación, humedad, brillo solar, la dirección y velocidad del viento, etc.) características para cada región que interactúan entre sí, determinando el tipo de clima.

La diversidad de climas se debe a la variación espacial y temporal de las variables climatológicas, la cual en gran medida es establecida por la ubicación geográfica y por las características fisiográficas del territorio.

Por las condiciones geográficas del territorio colombiano y específicamente del área de la Plancha 5-04, los principales factores que afectan el clima son: su situación ecuatorial, la presencia de las cordilleras y la vecindad con los océanos.

La posición ecuatorial del área, explica por qué el clima carece de las estaciones térmicas prevaleciendo las hídricas y por qué el relieve se convierte en un factor importante en la caracterización climática, ofreciendo variedad de climas y microclimas.

A continuación se describe el régimen de las principales variables climatológicas que determinan el clima del área de la plancha 5-04.

- **Temperatura del aire**

Teniendo en cuenta que el territorio colombiano se ubica en la zona ecuatorial, las fluctuaciones de la temperatura media del ambiente a través del año son débiles. La amplitud máxima entre los valores medios mensuales es inferior a 3°C y se presenta bajo condiciones atmosféricas especiales, tales como, aire seco, nubosidad escasa, etc.

La variación de la temperatura del aire en el área se debe principalmente a la existencia de los llamados pisos térmicos, consistentes en la disminución de la temperatura a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, por lo cual el relieve se convierte en el más importante factor térmico. En promedio, el valor de la temperatura del aire con la altura disminuye 0.625°C cada 100 metros (IDEAM, 1998).

La mayor parte del área de la Plancha 5-04 pertenece al piso térmico cálido (alturas menores de 1000 m.s.n.m.) con temperaturas medias que superan los 24°C, mientras que en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y en las serranías de Perijá y Motilones se registran las temperaturas más bajas, que corresponden a los pisos térmicos de templado a paramuno.

Hacia la parte media de las montañas (alturas entre 2000 y 3000 m.s.n.m.) las temperaturas varían entre los 17.5°C y 24°C y en la parte alta (áreas situadas sobre los 3000 m.s.n.m.) descienden hasta valores menores de 4°C, como se ha registrado en el extremo norte de la Serranía de Perijá en el sitio denominado Cerro El Coso (CORPOCESAR, 1996).

La influencia de las extensas áreas acuáticas, como por ejemplo el mar Caribe, incide también en la formación de las variaciones térmicas. Las brisas marinas ayudan a suavizar las temperaturas del aire en la región costera por lo cual las temperaturas medias anuales tienden a aumentar ligeramente desde la franja costera hacia el interior. En la Costa Atlántica las temperaturas medias oscilan entre los 24°C y 28°C, hacia la parte central y sur de la Plancha 5-04 las temperaturas fluctúan entre los 28°C y 30°C (IDEAM, 1998).

Otra región donde la superficie acuática tiene influencia sobre las características térmicas es la Depresión Momposina, donde la temperatura es casi constante, ya que el agua almacena y retiene la mayor cantidad de energía solar, estabilizando sus efectos.

Las altas temperaturas que se observan durante todo el año en gran parte del área de la Plancha 5-04, producen una evapotranspiración igualmente alta limitando la disponibilidad de agua para la infiltración.

Aunque la variabilidad de las temperaturas medias mensuales es poco significativa, la amplitud diaria de la temperatura del aire, o sea, la diferencia entre sus valores máximo y mínimo cobra una gran importancia durante el día. Estas diferencias se van incrementando a medida que aumenta la elevación del terreno y en las zonas montañosas, con alturas que ascienden los 2000 m.s.n.m., en algunos casos pueden llegar hasta los 20 °C o más, sobre todo en los períodos secos.

Los cambios diarios de temperatura ocasionan la condensación del vapor de agua presente en el aire cerca a la superficie del terreno y al interior del suelo. La cantidad de agua que puede ser liberada mediante este fenómeno se conoce con el nombre de “precipitación horizontal”. Su importancia en la evaluación de los recursos hídricos es conocida a nivel mundial (Klimochkin, 1974; Trombe,1988). Una primera estimación de la precipitación indirecta por rocío, para Colombia, presenta valores máximos alrededor de los 160 mm/año (Vélez, J., et. al).

- **Precipitación**

El régimen de la precipitación en Colombia se relaciona directamente con la distribución de los vientos y de las masas de aire.

La ubicación geográfica del área en consideración, la sitúa bajo la influencia de corrientes de aire húmedo, originadas en el Océano Atlántico. Estas corrientes convergen sobre el territorio continental colombiano y producen la mayor parte del total de la precipitación anual debido a los efectos de la convección. Otras lluvias son originadas por fenómenos convectivos locales y por la influencia de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), franja a donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de los grandes cinturones de alta presión, situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur, dando origen a la formación de grandes masas nubosas que provocan abundantes precipitaciones a medida que la ZCIT se está desplazando.

Adicionalmente, otros factores fisiográficos, tales como el relieve, la integración entre la tierra y el mar y la existencia de amplias áreas cenagosas contribuyen con el régimen de la precipitación en el área de la Plancha 5-04. La distribución espacial de la precipitación en esta área presenta distintas regiones con variada cantidad de lluvia anual. En general la precipitación anual aumenta hacia el interior del continente a medida que crece la distancia al mar (Rangel, 1984).

Las zonas con mayor precipitación corresponden a las estribaciones en la parte sur de la Sierra Nevada de Santa Marta, la vertiente de sotavento de la Cordillera Oriental (Serranías de Perijá y Motilones) y la región de la Depresión Momposina.

La Sierra Nevada de Santa Marta constituye una barrera formidable para las masas de aire cargadas de humedad y aunque su parte sur queda en la “sombra seca”, aquí se presenta paulatinamente el incremento de la precipitación con la elevación desde los 1500 mm/año hasta los 2500 mm/año. De manera similar en las zonas montañosas de las serranías de Perijá y Motilones se observa el aumento de la precipitación anual de 1300 mm a valores mayores de 2000 mm (CORPOCESAR, 1996).

La Depresión Momposina se caracteriza por presentar condiciones especiales de humedad, debido a sus extensas áreas acuáticas permanentes, lo cual se refleja en el aumento de la precipitación anual hasta los 2000-2500 mm en la región (HIMAT, 1989).

También aparece un ligero aumento de la precipitación anual hasta los 1500 mm en la Serranía de San Jacinto en los alrededores de la población de María la Baja (HIMAT, 1989).

En cuanto a las áreas con relativa sequía, se puede distinguir una zona en el nororiente de la Plancha 5-04, en cercanías de Valledupar, donde se presenta una

disminución de la precipitación anual hasta los 1000 mm, debido a la influencia de los vientos secos provenientes de La Guajira hacia el interior, a través de la llamada “garganta del Cesar”. Otra zona semiseca, con valores de precipitación menores de 1000 mm/año, se observa a lo largo de la zona costera, la cual avanza hacia el sur por el valle del río Magdalena hasta la región de Zambrano (HIMAT, 1989).

Aunque el volumen de agua precipitada anualmente es el índice importante de humedad, su distribución mes por mes es la que define en un alto grado la disponibilidad de agua para la recarga de los acuíferos.

En general en el área de la Plancha 5-04 se distinguen dos zonas con regímenes pluviométricos bien definidos.

La primera zona, con una distribución bimodal de lluvias, comprende la parte alta de la cuenca del río Cesar y una franja paralela a las serranías de Perijá y los Motilones sobre la margen izquierda del mismo río. En esta zona el período más seco con un 10% de la precipitación anual, abarca los meses de diciembre a marzo; el período húmedo comprendido entre los meses de agosto y noviembre, aporta 50-60% de la lluvia anual. No obstante, aparecen de menor intensidad otra temporada lluviosa abril-junio y otra temporada seca en julio (Angel y Huguett, 1995).

La segunda zona que cubre el resto del área tiene el régimen monomodal de lluvias. El período seco corresponde a los primeros y últimos meses del año (desde diciembre hasta marzo-abril) durante el cual se precipita un 10% de lluvias. A medida que nos aproximamos al mar, el período seco se alarga y puede empezar en noviembre. En relación con el período lluvioso, se distinguen varias áreas donde los máximos ocurren en diferentes meses.

Adicionalmente, en la región comprendida por las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cuenca del río Ariguaní y las ciénagas aledañas al municipio de El Banco, durante el período lluvioso se suele presentar una ligera disminución de la precipitación en el mes de julio que se conoce con el nombre de “veranillo”.

## **2.1. Zonificación Climática**

Con base en la clasificación climática de Thornthwaite (Eslava, 1986) se definieron para la Plancha 5-04 áreas climáticamente homogéneas a nivel regional, sin tener en cuenta posibles condiciones locales que determinan variaciones menores.

Las clases de clima, que se determinan con este método, son de gran utilidad en lo referente a la evaluación de los problemas relacionados con los recursos hídricos, puesto que para establecer el tipo de clima según esta clasificación se debe calcular el balance hídrico que comprende la precipitación, la evapotranspiración potencial y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. De los resultados del balance hídrico se obtienen índices necesarios para dicha clasificación.

Los principales tipos de clima que se han encontrado en la Plancha 5-04 se han clasificado utilizando el índice hídrico, que cuantifica la proporción de excesos y deficiencias de agua en el suelo indicando la disponibilidad del recurso para la infiltración. Para definir la variación estacional de la humedad efectiva, se han utilizado los índices de humedad y aridez que permiten definir subtipos climáticos cuantificando superávit y deficiencia de agua durante el año.

Para facilitar su visualización, el mapa de zonificación climática de la Plancha 5-04 se presenta en forma sintetizada, mostrando únicamente la distribución de los principales tipos de clima según la clasificación de Thornthwaite (Figura 2).

La mayor parte del área corresponde a los climas semiárido y semiseco, con deficiencias hídricas que se presentan normalmente a lo largo del año. La disponibilidad de agua para la infiltración es muy reducida, la cual ocurre ocasionalmente en los períodos más húmedos.

Las zonas con climas semihúmedo, ligeramente húmedo y moderadamente húmedo en general presentan condiciones favorables para la infiltración, aunque para el clima semihúmedo los excesos hídricos se restringen a las épocas de invierno.

### **2.1.1. Aguas superficiales**

El área de la Plancha 5-04 hace parte de dos grandes sistemas hidrográficos del territorio colombiano, como son las cuencas del río Catatumbo y la del río Magdalena, la cual ocupa casi la totalidad del área en consideración.

El sistema hidrográfico del Catatumbo tributa sus aguas al Lago Maracaibo. En el área de interés, está conformado por el río Catatumbo y sus afluentes que nacen en las estribaciones de la Cordillera Oriental. Como consecuencia de la abundante precipitación y de otros factores como topografía y geología, esta zona presenta relativamente altos rendimientos hídricos con un valor promedio de 30 l/s/km<sup>2</sup> (IDEAM, 1998).

La cuenca del río Magdalena es el sistema hídrico de mayor importancia en el área de la Plancha 5-04. Su sistema de drenajes, además del río Magdalena, lo conforman sus principales afluentes, los ríos Cesar, Cauca y San Jorge, y numerosos ríos y corrientes menores que nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta, serranías de Perijá, Los Motilones y de San Jacinto.

Básicamente todas las corrientes superficiales importantes de la cuenca tributan sus aguas al río Magdalena convirtiéndola en drenaje regional, aunque existen pequeños arroyos de carácter temporal, distribuidos a lo largo de la línea costera, que entregan sus aguas directamente al mar Caribe.

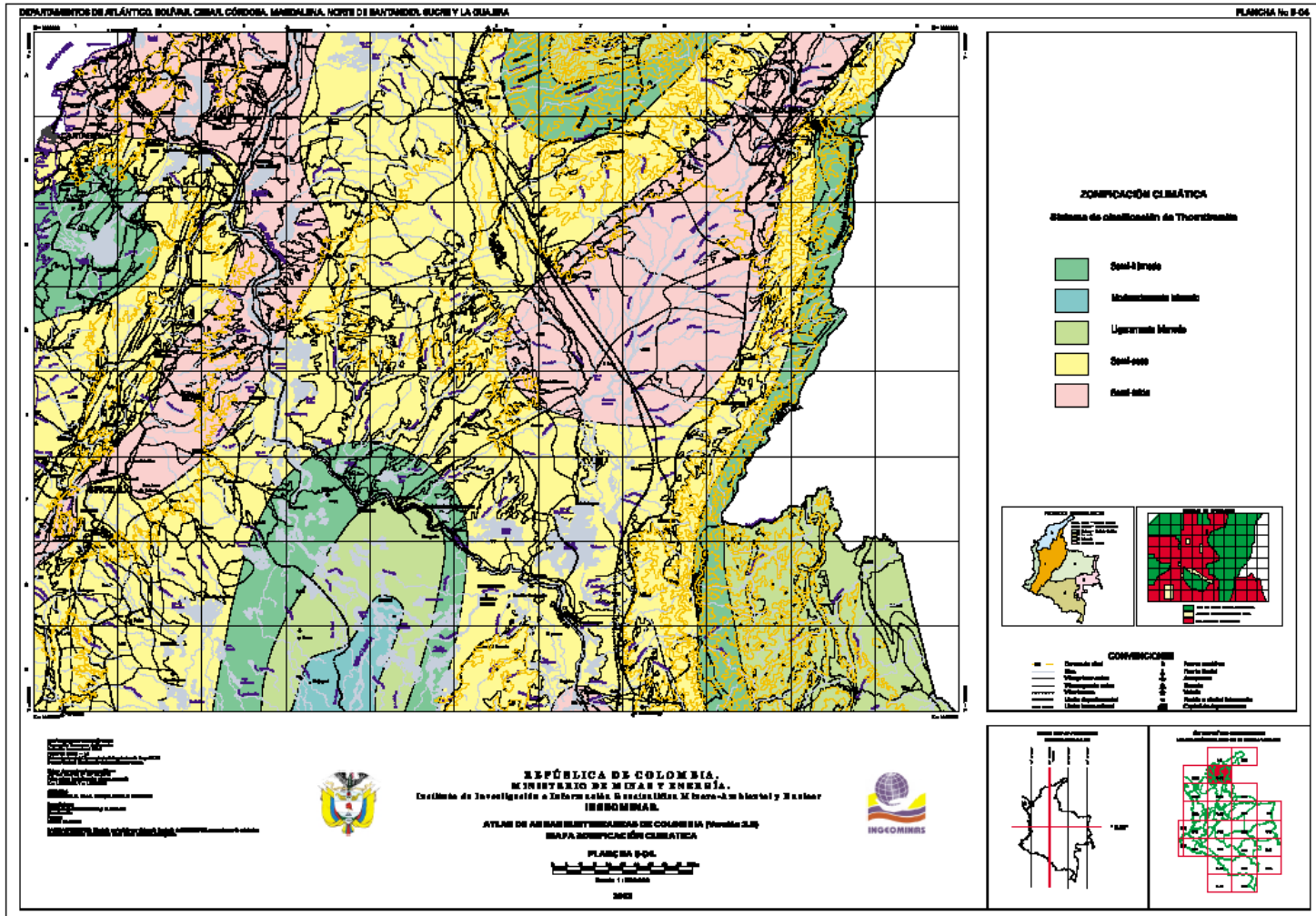


Figura 2

Un elemento muy importante en la hidrología superficial de la cuenca del río Magdalena, son los sistemas de amplias zonas cenagosas ubicadas en la región Momposina y en menor proporción en la zona del Canal del Dique que juegan un papel regulador de los caudales durante todo el año. Generalmente, estas zonas se caracterizan por drenaje superficial deficiente y una saturación de humedad permanente en los horizontes superiores del suelo.

El régimen hidrológico de los ríos se encuentra influenciado por las precipitaciones presentando grandes fluctuaciones de los caudales durante el año. La mayoría de las corrientes menores (caños y arroyos) son de carácter torrencial e intermitente. Los ríos Cesar, Cauca, San Jorge y Magdalena presentan un caudal permanente debido a los aportes de aguas subterráneas y la capacidad de almacenamiento y regulación de sus cuencas.

El régimen hidrológico natural ha sufrido alteraciones a través del tiempo por la intensa acción antrópica, lo cual ha ocasionado por un lado la ocurrencia de inundaciones y avenidas cada vez más frecuentes y por el otro, drásticas y prolongadas sequías.

Los rendimientos hídricos en la cuenca del río Magdalena disminuyen a medida que el río avanza y se aproxima al mar Caribe con un valor medio para el área en consideración de  $14 \text{ l/seg*km}^2$  (IDEAM, 1998).

## **3. GEOLOGIA**

### **3.1. GENERALIDADES**

Geológicamente el territorio colombiano está conformado por dos grandes elementos geotectónicos asociados al continente suramericano: las Cordilleras de los Andes y el Escudo Guayanés. Estos dos elementos conforman a su vez cuatro regiones fisiográficas con rasgos litoestratigráficos y tectónicos propios que permiten identificar terrenos que ofrecen diverso potencial hídrico tanto superficial como subterráneo. Estas regiones son:

Andina, constituida por las cordilleras Occidental, Central y Oriental y los valles intramontanos de los ríos Magdalena y Cauca.

Caribe, conformada por la Península de La Guajira, la Sierra Nevada de Santa Marta, la Depresión de Mompós, las llanuras del Magdalena, Valle del Sinú y las sabanas de Bolívar.

Pacífica, conformada por la Serranía de Baudó y el denominado Andén Pacífico.

Guayana, constituida por la Orinoquía y la Amazonía.

La caracterización geológica de estas regiones se basa en un análisis amplio de las diferentes unidades roca, el ambiente de formación y los procesos posteriores de deformación causados por la acción de eventos orogénicos y magmáticos a través del tiempo geológico.

### **3.2. DENSIDAD DE INFORMACION**

El mapa geológico, referencia la actividad que ha desarrollado el INGEOMINAS en la plancha 5-04, a través de proyectos internos, convenios y contratos.

El cubrimiento geológico de esta plancha, con comprobación de campo, es del 100%, el cual se complementa con fotointerpretación y análisis de imágenes de radar. Parte de esta información se tomó de mapas geológicos departamentales (Bolívar, Cesar, Atlántico y Norte de Santander) a escalas entre 1:200.000 y 1:450.000 y del mapa de la Sierra Nevada de Santa Marta en escala 1: 250.000 ya editados, así como también de la documentación del INGEOMINAS para varias planchas geológicas a escala 1:100.000 del área.

### **3.3. MARCO GEOTECTONICO REGIONAL**

La historia evolutiva de la región cubierta por la Plancha 5-04 es compleja, obediendo a la interacción de las placas Suramericana, del Caribe, Nazca y la



Norteamericana, dando origen a zonas de subducción y obducción relacionadas con procesos de acreción continental, estilos de deformación tectónica y magmatismo.

La tectónica del área de la plancha 5-04 es de carácter compresivo y distensivo, y se encuentra representada estructuralmente por bloques levantados y hundidos. Dentro de los bloques levantados están la Sierra Nevada de Santa Marta, el Macizo de Santander y la Serranía de Perijá, los cuales aparecen desplazados y limitados por sistemas de fallas como: Santa Marta - Bucaramanga, falla activa de tipo sinetral inversa, de dirección N35°W. Este sistema de fallas separa por el occidente el Macizo de Santander y la Sierra Nevada de Santa Marta de la Fosa de Plato y la margen oriental del Valle Medio del Magdalena. El Sistema de Fallas de Romeral, de rumbo NE, limita la Fosa de Plato por el occidente; además están la falla del Cesar de rumbo NE, cubierta por depósitos cuaternarios, y otras fallas menores que afectan la Sierra Nevada de Santa Marta y las serranías de Perijá y Motilones, que ponen en contacto rocas antiguas (del Proterozoico, Paleozoico y Mesozoico), con rocas del Paleógeno, Neógeno y depósitos recientes.

### **3.4 HISTORIA GEOLOGICA**

La composición geológica y estructural de la plancha 5-04 es bastante compleja como resultado de diversos procesos de subducción que se presentaron a lo largo del lineamiento arqueado de Sevilla y del fallamiento transcurrente de las fallas de Oca y Santa Marta-Bucaramanga en los bordes norte y occidente de la Sierra Nevada de Santa Marta.

De las cuatro regiones fisiográficas en que se ha dividido el territorio nacional, esta plancha cubre parte de las regiones Caribe y Andina, donde se identifican la Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía de Perijá, el Macizo de Santander, el extremo más septentrional de la Cordillera Central conocido como Serranía de San Lucas, la Serranía de San Jacinto y el Valle Inferior del Río Magdalena.

El área de esta plancha que hace parte de la región geosinclinal Andina, estuvo desde el Cámbrico bajo el nivel del mar por largos períodos de tiempo, dando lugar a la acumulación de sedimentos marinos, continentales y volcánicos de miles de metros de espesor.

La secuencia cronoestratigráfica presente en la plancha comprende rocas con edades desde el Precámbrico hasta el Reciente, afectadas tectónicamente por fallas regionales de dirección N-W como la de Santa Marta-Bucaramanga. Las rocas más antiguas son rocas metamórficas localizadas en la Sierra Nevada de Santa Marta y el Macizo de Santander y corresponden a granulitas anortosíticas (Granulitas de Los Mangos), neises y anortositas (Anortositas de río Frío y río Sevilla), esquistos hornblendobiotíticos y augito-anfibólicos que cambian lateralmente a neis (Neis de Los Muchachitos), espilitas y rocas volcánicas y mármoles (Mármoles de Gaira).

Sobre ellas se depositaron las rocas del Paleozoico Inferior, de posible origen marino, las cuales sufrieron un evento metamórfico que dio origen a ortoneises graníticos, dioritas y diques pegmatíticos, neises hornblendicos y biotíticos, localizados entre los batolitos de Aracataca y Puerto Bello. Además aparecen al noroccidente de la Sierra Nevada y al norte del Lineamiento de Sevilla, conocidos como el Neis de Buritacá, agrupados con los símbolos (Pzia, Pzi, Pzs) Las rocas sedimentarias del Paleozoico están constituidas por conglomerados, areniscas cuarzosas, calizas y lodolitas y capas rojas del Grupo Chundúa. Estas rocas se identifican con los símbolos (Pzst, Pzsm y PzTrm).

Estas rocas metamórficas, son el resultado de diversos eventos metamórficos ocurridos durante el Proterozoico y Paleozoico y hacen parte del denominado Complejo Polimetamórfico del Arco de Sevilla que ocupa la mayor parte de la Sierra Nevada de Santa Marta junto con las granulitas Precámbricas. Dichos complejos metamórficos se encuentran intruídos por plutones del Triásico como el Plutón de Buritacá y el Granito Biotítico de San Sebastián, Try, asociados con lavas, basaltos, vulcanitas y rocas sedimentarias de edad Triásico Superior (Tr $\sigma$ , Tr $\phi$ , Tr $\beta$  y TrJp).

Durante el Jurásico, se inicia un nuevo ciclo de sedimentación acompañado de vulcanismo, en el cual se intruyeron varios de los grandes batolitos. Las rocas del Mesozoico Temprano son principalmente sedimentitas oscuras intercaladas con rocas volcánicas y espilitas de las formaciones Corual y Los Indios, mientras que las del Jurásico corresponden a la Formación Guatapurí. En el mapa se agrupan con los símbolos (Tr, Jp, Jc y Jt).

A finales del Mesozoico y principios del Cenozoico ocurrió un evento volcánico ácido, ignimbritas y flujos riódacíticos representados en las Ignimbritas de los Clavos, la Paila, la Riodacita de los Tábanos y la Riolita del Golero.

Las unidades sedimentarias del Cretácico aparecen en el extremo sureste de la Sierra Nevada, hacia los valles de los ríos Cesar y Ranchería y se prolongan hacia la Serranía de Perijá e incluso en el Macizo de Santander y la Cuenca del Catatumbo, correspondiendo a sedimentitas marinas con predominio de calizas, representadas por las formaciones Lagunitas, Aguas Blancas, La Luna y Molino, agrupadas con los símbolos (Kit, Kism, Kst y Ksm).

Las rocas sedimentarias del Paleógeno-Neogeno ocupan la mayor parte de la plancha 5-04, tanto al centro y occidente como al norte de la Serranía de Perijá. Gran parte de estas rocas sedimentarias se encuentran cubiertas por sedimentos cuaternarios constituidos por depósitos aluviales, glaciales y lacustres. A comienzos del Paleógeno se presenta un pulso de actividad ígnea intrusiva, Pgy, formando stoks compuestos por monzodioritas, monzonitas, dacitas, riolitas y tobas sieníticas, con facies marginales gabroides. Paralelamente al magmatismo ácido ocurrieron eventos volcánicos de origen oceánico, sobre los cuales se presenta una sedimentación

discordante compuesta por una alternancia de conglomerados polimícticos, arenitas, arcillolitas y calizas de las formaciones Barco, Los Cuervos y Cuesta, (Pgc, Pgt, Pgm, PgNgm).

Suprayaciendo la sedimentación del Paleógeno se encuentran las sedimentitas del Neógeno compuestas por una sucesión de areniscas, arcillolitas con intercalaciones de conglomerados, calizas y limolitas, que aparecen en una angosta fosa estructural, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, (Ngc, Ngt y Ngm).

Finalmente y sobre los conjuntos anteriores, se depositaron los sedimentos cuaternarios y recientes, que según Burgl (1960), en la Baja Guajira conformaron tres terrazas marinas de sedimentación, compuestas por arenas y gravillas finas, sin fósiles, sobre la cual se depositó una segunda terraza de calizas arenosas blandas y una tercera, encima de las anteriores, con arenas y arcillas semejantes a las playas recientes, (Qc, Qtz, Qal, Qt y Qm).

Las tierras bajas de la costa caribe están ocupadas por terrenos cenagosos y por el sistema fluvial del río Magdalena y el Canal del Dique, los cuales tienen su prolongación en la plataforma y el talud continental, que se hayan compuestos por un prisma sedimentario de gran espesor, que se extiende desde la línea de costa hacia el mar abierto.

## **4. HIDROGEOLOGIA**

### **4.1. GENERALIDADES**

Uno de los aspectos más importantes, relacionados con el desarrollo de las aguas subterráneas, es su regionalización, la cual está condicionada por factores como las características climatológicas, expresadas principalmente a través de la precipitación, la temperatura y la evaporación. Además, tienen importancia la fisiografía, la hidrografía, la vegetación y los suelos. La composición geológica de los diferentes tipos de acuíferos, también influyen en la distribución regional de las aguas subterráneas.

La regionalización de los acuíferos puede ser mejor representada a través de la división del territorio en provincias hidrogeológicas, (Unesco, 1996).

El área de la plancha 5-04 hace parte de las provincias hidrogeológicas Costera-Vertiente Atlántica en un 87% y Andina-Vertiente Atlántica en el 13%.

### **4.2. DENSIDAD DE LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA**

El cubrimiento de información hidrogeológica en la elaboración de la plancha 5-04 es de aproximadamente el 70%, considerando estudios regionales y locales efectuados en la parte plana, el resto (30%) carece de este tipo de estudios, especialmente la parte central del Departamento del Magdalena y el extremo meridional de los departamentos de Sucre y Bolívar, en la Depresión Momposina, incluyendo las zonas constituidas por rocas ígneo-metamórficas como la Sierra Nevada de Santa Marta, el Macizo de Santander y las serranías de Perijá y San Lucas.

### **4.3. METODOLOGIA**

La hidrogeología de la plancha 5-04 está conformada por dos mapas con varias capas de información, denominados: Mapa de Unidades Hidrogeológicas y Mapa de Estado del Recurso. Dentro de las capas de información más relevantes están: Provincias hidrogeológicas, Pozos representativos, Pozos estratigráficos, Areas de recarga, Dirección regional del flujo subterráneo, Regiones acuíferas con buenas posibilidades de explotación, Regiones con flujos artesianos surgentes, Zonas acuíferas con alta explotación y el valor de los Recursos, Reservas Pasivas y Explotación de los principales acuíferos.

El Mapa de Unidades Hidrogeológicas representa las diferentes formaciones acuíferas y no acuíferas que se encuentran aflorando en el área de la plancha 5-04, compuestas por una o varias formaciones geológicas, las cuales en la leyenda han sido agrupadas en tres categorías principales que dependen del tipo de porosidad de las rocas, de la ocurrencia o no de aguas subterráneas y del valor de la capacidad específica. Estas

categorías se definen como: Sedimentos y rocas con flujo intergranular; Rocas con flujos a través de fracturas y en Sedimentos y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas, consideradas estas últimas prácticamente impermeables.

En la horizontal, la leyenda está representada en tres grupos denominados: Sistemas Acuíferos, que dependen de la productividad y la capacidad específica de los mismos, Características de los Acuíferos, donde se describen sus condiciones hidráulicas intrínsecas y la identificación de las Unidades Hidrogeológicas, representadas con sus símbolos correspondientes. Dado que la simbología del mapa es cronoestratigráfica, la identificación de cada Unidad Hidrogeológica se realiza con base en un número adyacente al símbolo.

Dentro de este mapa se representan las direcciones de flujo subterráneo regional de los acuíferos que aparecen en superficie teniendo en cuenta la variación de los niveles estáticos de los pozos representativos, la dirección del drenaje superficial así como la topografía. Las áreas con explotación intensiva delimitadas, fueron definidas teniendo en cuenta altas concentraciones de pozos y sectores con descensos considerables del nivel freático como consecuencia del bombeo. Se delimitaron también zonas con flujos artesianos surgentes donde se encontraron pozos con nivel piezométrico por encima de la superficie del terreno denotando las mayores presiones a las que se encuentra el agua subterránea.

Los valores de recursos y reservas de los acuíferos principales aflorantes se han calculado a nivel de pronóstico, definiendo solamente las reservas pasivas o seculares (las reservas reguladoras o elásticas no fueron calculadas), tomando como espesor de acuífero aquel que no sobrepase una profundidad mayor de 500 m, que sería el espesor económicamente aprovechable. Para este cálculo se han tomado las áreas de afloramiento de los acuíferos donde se conocen sus propiedades hidráulicas. Los recursos (Q) se evaluaron mediante la relación:  $Q = TiB$ , donde T es transmisividad en  $m^2/d$ ,  $i$  gradiente hidráulico y B ancho de la corriente en metros. Para las reservas pasivas (R), se utilizó la relación:  $R = V*n$ , donde V es volumen de acuífero en  $m^3$  (área ( $m^2$ ) \*espesor (m)),  $n$  porosidad eficaz.

El Mapa de Estado del Recurso representa la delimitación de las áreas potenciales de recarga en superficie de los acuíferos, definidas en forma cualitativa por los afloramientos de los mismos, así como por las zonas topográficamente más altas y de acuerdo con el tipo de porosidad que presentan las rocas. Se han tenido en cuenta tres categorías principales cada una con valoraciones de alta y baja capacidad de infiltración. Éstas son: Sedimentos con flujo intergranular, Rocas con flujo intergranular y Rocas con flujo intergranular y/o a través de fracturas y/o carstificación.

En este mapa también se presentan las regiones acuíferas con buenas posibilidades de explotación de agua subterránea teniendo como criterios las áreas donde no haya gran concentración de pozos y la relación entre los recursos y reservas entre otras.

#### **4.3.1. Correlación Cronoestratigráfica E Hidrogeológica**

En el Cuadro 4.1 se presenta la correlación cronoestratigráfica e hidrogeológica de los principales acuíferos que ocurren en cada una de las provincias hidrogeológicas y en los departamentos que conforman la plancha 5-04, como también las formaciones geológicas de carácter impermeable que los separan. La descripción de los principales acuíferos se realiza en forma resumida, siguiendo la nomenclatura hidrogeológica planteada en este cuadro.

CUADRO 4.1 CORRELACIÓN CRONOESTRATIGRAFICA E HIDROGEOLOGICA DE LA PLANCHA 5-04

SISTEMA	PERIODO	PROVINCIAS HIDROGEOLOGICAS									LITOLOGIA	NOMENCLATURA		
		COSTERA VERTIENTE ATLANTICA							ANDINA VERTIENTE ATLANTICA				PREDOMINANTE	HIDROGEOLOGICA
		CORDOBA	SUCRE	BOLIVAR	ATLANTICO	MAGDALENA	CESAR	GUAJIRA	CESAR	NORTE DE SANTANDER				
CUATERNARIO	HOLOCENO	Acuífero Depósitos Aluviales	Acuífero Depósitos Aluviales	Acuífero Depósitos Aluviales	Acuífero Depósitos Aluviales	Acuífero Magdalena	Acuífero Depósitos Aluviales y Coluviales	Acuífero Depósitos Aluviales y Coluviales		Acuíferos Depósitos Aluviales	Arena, grava y limo	Acuíferos Cuaternarios Someros		
	PLEISTOCENO	Acuífero La Mojana	Acuífero Morrosquillo	Acuífero Arroyo Grande	Acuífero Rotinet	Acuífero Zona Bananera	Acuífero Cesar	Acuífero Ariguaní	Acuífero Cesar		Grava, arena arcilla	Acuíferos Cuaternarios Profundos		
		Acuífero Betulia Arenoso	Acuífero La Mojana	Acuífero Betulia Arenoso								Arcilla, limo, arena	Unidad Confinante	
		Acuífero Morroa	Acuífero Morroa	Acuífero del Popa	Acuífero del Popa	Acuífero Chivolo				Acuífero Necesidad	Marga, arenisca y Lodolita calcárea Arenisca,	Acuífero Terciario Superior		

TERCIARIO	NEOGENO		Cerrito		Acuífero Tubará						conglomerado, arcillolita	Superior
			Fm. Sincelejo Inferior	Fm. Sincelejo Inferior							Arcillolita, arenisca	Unidad Confinante
							Acuífero Cuesta			Acuífero Guayabo	Arenisca, conglomerado, arcillolita	Acuíferos Terciario Superior
		Fm. Carmen	Fm. Rancho	Fm. Arjona Fm. Rancho		Fm. Rancho					Lodolitas, areniscas y Arcillolitas	Unidad Confinante
		Fm. Carmen	Fm. Zambrano Fm. Carmen		Fm. Zambrano							
	PALEOGENO		Fm. Chengue Fm. San Jacinto	Fm. Chengue	Fm. Perdices		Fm. Los Cuervos Fm. Barco			Fm. Los Cuervos Fm. Barco	Shale, arcillolita Carbonácea, arenisca, limolita	Unidad Confinante
		Acuífero Cerrito Acuífero Toluviéjo	Acuífero Toluviéjo Acuífero Maco								Caliza, arenisca	Acuíferos Terciario Inferior
		Fm. San Cayetano	Fm. San Cayetano Ciénaga de Oro	Fm. San Cayetano	Fm. Turbitas de Luruaco						Lodolita, arenisca	Unidad Confinante
	SUPERIOR		Fm. Cansona				Fm. Molino				Shale, caliza	Unidad Confinante
							Acuífero La Luna	Acuífero La	Acuífero La	Acuífero La Luna	Caliza, chert, arcillolita	Acuífero Cretáceo



							Acuífero Aguas Blancas	Luna Acuífero o Aguas Blancas	Luna			Superior
CRETACEO	INFERIOR									Fm. Colon Fm. Mitu-Juan	Arcillolita calcárea, limolita, caliza	Unidad Confinante
							Acuífero Cogollo	Acuífero o Cogollo	Acuífero o Cogollo	Acuífero Grupo Cogollo	Caliza, arenisca, arcillolita	Acuífero Cretáceo Inferior
							Fm. Rionegro	Fm. Rionegro	Fm. Rionegro	Fm. Lagunita Fm. Molino Fm. Rionegro	Arenisca conglomerado compacto	Unidad Confinante
JURATRIASICO						Fm. Villanueva	Fm. Villanueva		Fm. Girón Fm. Jordán Fm. Bocas	Arenisca roja, arcillolita, rocas ígneas y volcánicas	Unidad Confinante	
PALEOZOICO						Complejo ígneo Metamórfico Sierra Nevada Santa Marta	Complejo ígneo Metamórfico Sierra Nevada Sta Mta y Perijá	Complejo ígneo Metamórfico Sierra Nevada Sta Mta y Perijá	Complejo ígneo Metamórfico Serranía Perijá	Metasedimentitas y plutonitas Ácidas. Fm. Silgará	Granitos dioritas Anfibolita, esquisto, lava	Basamento

## **4.3.2. Unidades Hidrogeológicas**

### **4.3.2.1. Acuíferos Cuaternarios**

Se encuentran representados por depósitos no consolidados de arenas, gravas, limos y arcillas intercaladas, de poco espesor, de edad Cuaternario Reciente (Holoceno) y por depósitos inconsolidados a semiconsolidados de gran espesor del Pleistoceno.

Dos ambientes de depositación componen los acuíferos Cuaternarios. El primero consiste de sedimentos de origen fluvial asociados a los cauces de los principales ríos, los cuales ocupan la parte plana del área y los depósitos de origen marino a transicional restringido a las zonas cercanas a la línea de costa, que en su conjunto se identifican con el nombre de Acuíferos Cuaternarios Someros. El segundo y más ampliamente extendido corresponde a espesos depósitos conformados por sedimentos de origen aluvial, que hacen parte de amplios y estrechos valles, denominados Acuíferos Cuaternarios Profundos.

#### **4.3.2.1.1. Acuíferos Cuaternarios Someros – Qal(5)**

Con este nombre se agrupan los acuíferos conformados por sedimentos no consolidados del Holoceno, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en la parte central y occidental de la Provincia Hidrogeológica Costera Vertiente Atlántica, asociados a las regiones con topografía plana a semiplana que se encuentran a partir de la margen oriental del Río Magdalena y la parte baja del Río Cesar. En la provincia Andina-Vertiente Atlántica este acuífero se encuentra restringido a estrechos valles. Litológicamente están constituidos por intercalaciones de arenas, gravas, limos y arcillas con predominio de granulometría fina.

El Acuífero Somero por lo general no está conectado hidráulicamente con los acuíferos infrayacentes, son de extensión local, discontinuos, con espesores que no sobrepasan los 40 m y de baja productividad, con capacidad específica entre 0.05 y 1 l/s/m.

En la parte occidental de la provincia hidrogeológica Costera-Vertiente Atlántica, el acuífero superficial conformado por el valle del Río Magdalena (Acuífero Magdalena), reposa sobre un basamento de rocas Terciarias predominantemente arcillosas representadas por la Formación Zambrano. Sus zonas de recarga se consideran de baja capacidad de infiltración, la cual proviene en primera instancia de la precipitación que cae directamente sobre sus afloramientos. Otra posible recarga se efectúa a través de las corrientes superficiales únicamente durante las épocas de lluvia, por cuanto la mayoría de ellas son intermitentes.

El acuífero es de tipo libre, aún cuando localmente puede ser confinado debido a las intercalaciones arcillosas. La producción de los pozos que lo captan varía entre 0.5 y 5 l/s dependiendo del espesor saturado y de la granulometría de los sedimentos.

Los depósitos de terrazas aluviales, ampliamente distribuidos hacia el extremo norte del Río Magdalena, también desarrollan acuíferos superficiales con una composición litológica de sedimentos limo-arcillosos en la parte superior y de intercalaciones de gravas, arenas gruesas y limos hacia la base, depositados en el Cuaternario en un ambiente fluvial-cenagoso, con un espesor máximo de 40 m., captado fundamentalmente por aljibes. Tiene un carácter de libre a semiconfinado, considerándose sus afloramientos como sus áreas de recarga.

Entre las poblaciones de San Jacinto y San Juan Nepomuceno existe un pequeño campo de pozos que explota el aluvión del Arroyo Rastra, utilizándose el agua para el abastecimiento de estas dos poblaciones. En total operan 6 pozos con profundidades entre 10 y 15 m que explotan arenas gruesas y gravas situadas a partir de los 5 m de profundidad. El nivel estático se encuentra entre 2.5 y 3.5 m y producen caudales entre 3 y 10 l/s. La transmisividad promedio reportada es de 400 m<sup>2</sup>/día (Suárez, 1972).

Hacia la parte occidental de la Provincia Costera-Vertiente Atlántica, en la región comprendida por las poblaciones de Bosconia, El Paso, La Loma y Becerril, este acuífero se compone de intercalaciones de arcillas arenosas, arenas finas a gruesas y arcillas con valores de resistividad para las capas saturadas desde 15 hasta 30 ohm-m. El nivel estático se encuentra entre 5 y 30 m de profundidad, con un promedio de 15 m. Es explotado por cerca de 470 aljibes con profundidades de 10 a 30 m y caudales entre 0.1 y 2.5 l/s y por aproximadamente 35 pozos con profundidades máximas de 60 m y caudales promedios de 2 l/s.

La explotación del acuífero somero es más acentuada entre las poblaciones de Chimichagua, Saloa, Zapatosa y las Vegas, donde llega alcanzar profundidades hasta de 100 m. En la localidad de Saloa, aledaña a la Ciénaga de Zapatosa, Insfopal (1980) construyó un pozo de 65 m de profundidad con un nivel estático de 10 m, el cual produjo un caudal de 5.5 l/s con un abatimiento de 20 m, presentando una transmisividad de 120 m<sup>2</sup>/día.

En alrededores de la localidad de Chimichagua se han construido 6 pozos con profundidades desde 50 hasta 100 m que captan entre los 20 y los 80 m, niveles de gravas y arenas con intercalaciones arcillosas. Un pozo construido a 100 m de profundidad produjo un caudal de 40 l/s a partir de un nivel saltante de 0.80 m por encima de la superficie del terreno y un abatimiento de 25 m, midiéndose una transmisividad de 180 m<sup>2</sup>/día. De acuerdo a la variación del nivel estático, el flujo subterráneo freático se dirige hacia el noroccidente para converger en la zona de la Ciénaga de Zapatosa.

En el extremo occidental de la Provincia Hidrogeológica Costera-Vertiente Atlántica, los acuíferos someros de origen marino a transicional están asociados a la línea de costa.

En la región correspondiente a la Provincia Hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica, el acuífero Cuaternario Somero se caracteriza por tener un espesor muy delgado, menor de 20 m, compuesto por limos y arcillas con algunos niveles de arenas y gravas que cubren discordantemente a rocas Terciarias que conforman el Acuífero Cuesta, desconociéndose si existe conexión hidráulica entre ellos. Es un acuífero libre con niveles estáticos entre 3.5 y 4.5 m de profundidad. Actualmente la explotación se lleva a cabo por cerca de 70 aljibes con profundidades desde 4.5 hasta 8.0 m que producen caudales promedio de 0.5 l/s.

#### **4.3.2.1.2. Acuíferos Cuaternarios Profundos**

Con este nombre se agrupan acuíferos conformados litológicamente por sedimentos no consolidados a semiconsolidados de gravas, arenas, arcillas y limos productos de la depositación litoral y fluvial ocurrida durante el Pleistoceno, con flujos esencialmente intergranular, identificados con los nombres de Morrosquillo, Arroyo Grande, Rotinet, Zona Bananera de Santa Marta, Cesar, Ariguaní, La Mojana y Betulia Arenoso.

Los acuíferos cuaternarios profundos por lo general son del tipo multicapa, con medianas a altas productividades, capacidades específicas desde 1 hasta mayores de 5 l/s/m. El espesor de estos acuíferos varía entre 60 y 300 m, correspondiendo esta última profundidad a la parte media del valle del Río Cesar. Sus zonas de recarga se asocian a sedimentos con capacidades de infiltración baja a alta, la cual se realiza principalmente por precipitación de la lluvia. La descripción hidrogeológica de estos acuíferos se presenta a continuación en forma resumida.

##### **- Acuífero Morrosquillo – Qal(10)**

Su mayor afloramiento aparece en el extremo noroccidental del Departamento de Sucre, formado en la planicie costanera situada en el Golfo de Morrosquillo, ocupando un área total de aproximadamente 600 km<sup>2</sup>. Se compone de un relleno litoral y fluvial en paleocauces, conformado por arenas cuarzosas finas, gravas y guijarros con intercalaciones de arcillas, depositadas discordantemente sobre formaciones Terciarias de carácter impermeable como las formaciones Carmen y San Cayetano. Su espesor varía entre 20 y 100 m.

Al noroeste de la población de Tolú, en los alrededores de la Ciénaga de Trementino y en el sector de Paso Corriendo, existe un paleocauce cuyos sedimentos tienen un espesor entre 30 y 80 m. Al suroriente de Tolú, el paleocauce del antiguo Arroyo Pechelín, alcanza un espesor de 60 m y en el localizado en alrededores de Puerto Viejo, el espesor de los sedimentos es de 100 m. (Barrera, 1999).

El Acuífero Morrosquillo recibe la mayor parte de su recarga a partir de la precipitación que cae directamente sobre su zona de afloramiento. Además, ocurre una

recarga estacional a lo largo de una franja estrecha y alargada recostada al piedemonte de los Montes de María, compuesta por depósitos arenosos Cuaternarios de baja capacidad de infiltración, donde ocurre la mayor infiltración de las corrientes superficiales durante las épocas de fuertes lluvias. La dirección del flujo subterráneo va hacia el mar donde se presenta la descarga natural del acuífero. En varios sectores se encuentran pozos con flujos artesianos surgentes, lo cual indica que la descarga natural del acuífero se produce mar adentro.

Este acuífero costero es de tipo libre a confinado, abierto al mar, donde el nivel piezométrico del agua subterránea fluctúa entre +0.50 m y 4.5 m de profundidad. Es captado por cerca de 200 pozos, la mayoría de ellos con profundidades menores de 30 m y caudales inferiores a 1 l/s.

En sectores como Tolú y Puerto Viejo se han construido pozos con profundidades entre 35 y 50 m que captan niveles arenosos saturados con agua dulce a salobre a partir de los 20 m. La producción por pozo varía desde 5 hasta 10 l/s, dependiendo del espesor y la granulometría. La transmisividad varía de 80 a 110 m<sup>2</sup>/día, la conductividad hidráulica promedio es de 1.5 m/día y la capacidad específica se encuentra entre 0.05 y 1 l/s/m.

Los datos utilizados para el cálculo de los recursos y las reservas pasivas a nivel pronóstico fueron: transmisividad de 110 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico de 0.005 y ancho de la corriente de 40000 m. Para las reservas pasivas se utilizó un área de 600 km<sup>2</sup>, un espesor de 80 m y una porosidad eficaz de 0.21. Los recursos así evaluados fueron de 8 Mm<sup>3</sup>/año (0.25 m<sup>3</sup>/s) y las reservas en 10080 Mm<sup>3</sup> respectivamente. Actualmente se extrae un volumen de aproximadamente 0.127 m<sup>3</sup>/s, empleándose el agua fundamentalmente para abastecimiento doméstico y público.

#### **- Acuífero Rotinet – Qtz(6)**

Aflora en la región correspondiente a los departamentos de Atlántico y Bolívar, en el extremo noroccidental de la plancha, en forma de parches aislados de extensiones reducidas, ubicados en inmediaciones de las ciénagas del Guájaro, Luruaco, Tocagua y Totumo, por lo que se infiere sean el producto de la depositación de un antiguo brazo del Río Magdalena.

En general las capas se encuentran en posición horizontal, constituidas por clastos de tamaño grava fina a gruesa subredondeadas de rocas volcánicas de composición ácida a intermedia, chert, arenisca de grano grueso, cuarzo lechoso y cristalino dentro de una matriz de arena gruesa no consolidada, depositadas sobre un basamento arcilloso.

En la población de Villa Rosa, situada al suroccidente de la ciénaga del Guájaro, se construyó un pozo a una profundidad de 92 m con un tramo de filtros entre 60 y 90 m, hallándose el nivel estático a los 11 m de profundidad. El caudal de diseño fue de 6 l/s con un nivel dinámico de 26.5 m para una capacidad específica de 0.4 l/s/m. De

acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo el acuífero es de tipo libre con una transmisividad de  $950 \text{ m}^2/\text{día}$  y un coeficiente de almacenamiento de 0.01.

#### - Acuífero Cesar – Qal(6)

Está ubicado en el extremo nororiental de la plancha 5-04, extendiéndose en los departamentos del Cesar y La Guajira a lo largo y ancho de la parte alta y media del Río Cesar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, ocupando una extensión de aproximadamente  $3000 \text{ km}^2$ . Consiste de gruesas intercalaciones de arenas y gravas con cantos de rocas ígneas y volcánicas procedente de la erosión de las rocas de la Sierra Nevada y la Serranía de Perijá y delgadas capas limo-arcillosas y arcillosas que por lo general se adelgazan lateralmente.

La sedimentación clástica Cuaternaria relleno un antiguo graben conformado por fallas longitudinales de dirección noreste que demarcan los piedemontes de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá y la falla transversal del río Garupal de dirección noroeste-sureste. Este relleno aumenta su espesor hacia el centro del valle donde alcanza aproximadamente 300 m, cubriendo sedimentitas Terciarias y rocas carbonatadas del Cretácico o reposando sobre el basamento ígneo-metamórfico.

El Acuífero del Cesar contiene aguas generalmente bajo condiciones semiconfinadas, pero las frecuentes intercalaciones arcillosas crean localmente condiciones confinantes, con flujos artesianos surgentes observado en pozos situados al sur de la ciudad de Valledupar. Casi todo el flujo dentro del acuífero es de carácter local moviéndose el agua desde la zona de infiltración en la superficie del terreno y las zonas aledañas a los piedemontes, hacia las corrientes superficiales principalmente el Río Cesar. También existen flujos laterales que probablemente recargan el acuífero, provenientes de las rocas calcáreas Cretácicas que afloran en la Serranía de Perijá y en el borde suroriental de la Sierra Nevada de Santa Marta.

El acuífero es explotado por cerca de 320 aljibes con profundidades de 3.0 a 10 m con rendimientos desde 0.1 hasta 5.0 l/s y por alrededor de 30 pozos con profundidades que varían desde 60 hasta 300 m., con niveles estáticos entre 4.0 a 8.0 m., produciendo caudales desde 5.0 hasta 120 l/s. La transmisividad del acuífero es variable con valores generalmente menores a  $300 \text{ m}^2/\text{día}$ , con excepción del suroriente de Valledupar y la parte central del Río Cesar donde el acuífero alcanza su mayor espesor y la transmisividad llega a tener valores de  $1300 \text{ m}^2/\text{día}$ . El coeficiente de almacenamiento es del orden de  $1.0 \text{ E-}03$  y las capacidades específicas muy altas, mayores de 5 l/s/m.

En el extremo superior del valle del Río Cesar la firma Tahal (1972) construyó 7 pozos con profundidades entre 60 y 150 m, hallándose el nivel estático entre los 7.5 y los 30.5 m. Estos pozos presentaron rendimientos desde los 2.5 hasta los 90 l/s, con valores de transmisividad de 100 a  $300 \text{ m}^2/\text{día}$  y coeficientes de almacenamiento entre  $1.0\text{E-}03$  y  $7.0\text{E-}04$ . En la región de Valledupar la misma firma construyó 5 pozos con profundidades entre 115 y 120 m que atravesaron un relleno aluvial compuesto por arenas y gravas con cantos de rocas ígneas y volcánicas donde el nivel estático se

encontró a 1.5 y 8.5 m, obteniéndose caudales desde 6.5 y 80 l/s, valores de transmisividad para el acuífero entre 130 y 500 m<sup>2</sup>/día y coeficientes de almacenamiento de 1.0E-03.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 300 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.02 y ancho de corriente (B) de 40000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 3000 km<sup>2</sup>, espesor de 300 m y una porosidad eficaz de 0.25. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de 87.6 Mm<sup>3</sup>/año (2.8 m<sup>3</sup>/s) y las reservas pasivas de 225000 Mm<sup>3</sup> (millones de metros cúbicos). Actualmente se extraen del Acuífero Cesar un volumen de agua cercano a los 23 Mm<sup>3</sup>/año (0.73 m<sup>3</sup>/seg), que se emplea tanto para el abastecimiento público como en el riego de cultivos y ganadería.

#### **- Acuífero Zona Bananera de Santa Marta – Qal(3)**

Es un acuífero de origen aluvial, tipo multicapa, de carácter libre a semiconfinado, que ocupa la parte norcentral de la plancha 5-04, entre las estribaciones de la Sierra Nevada y el extremo meridional de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En esta plancha su área es de aproximadamente 700 km<sup>2</sup>, extendiéndose más hacia el norte, en el área correspondiente a la plancha 5-01. Está conformado hacia el piedemonte por cantos y gravas en una matriz limo arcillosa, hacia la parte central, donde desarrolla su mayor espesor, por gravas y arenas limpias con niveles arcillosos y hacia los bordes de la ciénaga de Santa Marta por intercalaciones de arenas finas con arcillas y limos.

Este depósito Cuaternario es producto de la erosión y el transporte del material proveniente del macizo igneo-metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta, alcanzando un espesor que varía entre 60 y 150 m. Se encuentra cubriendo discordantemente a una secuencia sedimentaria permeable de edad Terciaria, conocida como Formación Fundación y en algunos sectores descansa sobre la unidad confinante predominantemente arcillosa conocida como Formación Zambrano.

Los pozos que captan este acuífero tienen profundidades entre 30 y 100 m, con niveles estáticos en la mayor parte del área entre 2 y 5 m de profundidad. Los caudales de producción van desde 5 hasta 20 l/s con capacidades específicas altas, entre 2 y 5 l/s/m. La transmisividad del acuífero oscila entre 10 y 200 m<sup>2</sup>/día, presentándose los valores más bajos en el piedemonte y aumentan hacia su parte central.

El flujo del agua subterránea es de carácter regional profundo, moviéndose desde la zona de recarga ubicada en el piedemonte de la Sierra Nevada donde existen coluviones Cuaternarios y rocas Terciarias con alta capacidad de infiltración. También se presenta infiltración directa desde la superficie del terreno y a partir del lecho de las corrientes superficiales (ríos, quebradas y canales artificiales no impermeabilizados). El flujo subterráneo va en dirección hacia la Ciénaga Grande de Santa Marta donde probablemente ocurre su descarga natural.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de  $200 \text{ m}^2/\text{d}$ , gradiente hidráulico (i) de 0.01 y ancho de corriente (B) de 25000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de  $700 \text{ km}^2$ , espesor de 150 m y una porosidad eficaz de 0.21. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de  $18 \text{ Mm}^3/\text{año}$  ( $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y reservas de  $22050 \text{ Mm}^3$ , ambos a nivel pronóstico. De este acuífero se extrae durante todo el año mediante pozos profundos y aljibes  $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua que se emplean fundamentalmente en el riego de cultivos de palma africana y para el abastecimiento público y doméstico.

#### **- Acuífero Ariguaní – Qal(7)**

Se extiende a lo largo de la parte media del Río Ariguaní en una franja alargada y angosta con una extensión de aproximadamente  $175 \text{ km}^2$ .

Consiste de intercalaciones de arenas medias a gruesas, gravas, limos y arcillas, compuestos en su mayoría por fragmentos retrabajados provenientes del macizo igneo-metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta. Estos sedimentos rellenaron una pequeña fosa representada por un bloque tectónico hundido producto de fallas longitudinales paralelas a la Falla Bucaramanga - Santa Marta, denominadas Caracolito y Chimichagua y de fallas transversales. Este relleno Cuaternario tiene un espesor que varía entre 150 a 200 m, cubriendo posiblemente a rocas Terciarias impermeables.

El agua en el acuífero se encuentra bajo condiciones de confinamiento, por ser de tipo multicapa, presentándose en algunos sectores flujos artesianos surgentes.

Es captado por cerca de 28 pozos que tienen profundidades entre 80 y 160 m con niveles estáticos que oscilan desde 4.5 hasta 10 m y caudales que varían de 1.5 a 25 l/s. Junto al Río Ariguaní en cercanías de la población de Bosconia se construyó un pozo de 160 m de profundidad, captando arenas finas entre los 60 y los 90 m y gravas desde los 140 hasta los 160 m, con un nivel estático de 1.5 m que produjo un caudal de 60 l/s, una capacidad específica mayor de  $5.0 \text{ l/s/m}$ , con valores de transmisividad para el acuífero de  $1200 \text{ m}^2/\text{día}$ , conductividad hidráulica de  $10 \text{ m/día}$  y coeficiente de almacenamiento  $1.0 \text{ E-}04$ . El flujo subterráneo es de carácter local, siendo recargado, principalmente por el río Ariguaní.

Por ser escasa la información hidrogeológica de este acuífero, no se realizaron los cálculos de recursos y reservas correspondientes.

#### **- Acuífero La Mojana – Qal(9)**

Está situado en el extremo suroccidental de la plancha 5-04, en los departamentos de Sucre y Bolívar, conformado por la región fisiográfica plana a ligeramente ondulada, conocida como la Depresión Momposina, que tiene como límite norte y oriental el Río Magdalena. El acuífero está cubierto en casi toda su extensión por una delgada capa arcillosa impermeable que ha permitido el desarrollo de charcas, lagunas y ciénagas derivadas del desbordamiento de las corrientes superficiales durante los períodos de



fuertes lluvias, y constituido por una serie de intercalaciones de arenas medias a gruesas, gravas finas y arcillas, con frecuentes cambios laterales de facies, producto de la depositación fluvial del sistema Magdalena – Cauca – San Jorge, con un espesor de aproximadamente 200 m.

Cerca de 30 pozos se han construido en este acuífero para la captación de agua subterránea con destino al abastecimiento público y el regadío, los cuales tienen profundidades entre 40 y 170 m, con caudales de producción desde 0.5 hasta 60 l/s, con un promedio de 8 l/s. Por lo general los pozos con profundidades entre 100 y 170 m presentan los mayores caudales variando entre 10 y 60 l/s. La transmisividad fluctúa desde 50 hasta 1700 m<sup>2</sup>/día, con un promedio de 400 m<sup>2</sup>/día y coeficiente de almacenamiento promedio de 1.7 E-05.

Al sur de la localidad de Magangué, el pozo estratigráfico identificado con el No. 33 en el Mapa Hidrogeológico, conocido como Momposina-1 (Ecopetrol, 1989), señala que desde la superficie hasta los 800 m de profundidad se encuentran sedimentos del Cuaternario saturados con agua dulce, de esta profundidad hasta 2500 m formaciones Terciarias saturadas con aguas salobres a saladas y a partir de esta última se localiza el basamento ígneo-metamórfico.

El Acuífero La Mojana en la provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica, ocupa la región comprendida desde el sur de la Ciénaga de Zapatosa, a partir del Río Magdalena, hasta alrededores de la localidad de La Gloria, aledaña a este río. En el sector del municipio de Tamalameque existen varios pozos con profundidades entre 50 y 140 m que producen caudales entre 5 y 15 l/s a partir de niveles estáticos de 15 m de profundidad y valores para el acuífero de transmisividad desde 50 hasta 100 m<sup>2</sup>/día y coeficiente de almacenamiento del orden de 1.0 E-04.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 800 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.001 y ancho de corriente (B) de 80000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 8100 km<sup>2</sup>, espesor de 200 m y una porosidad eficaz de 0.21. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de 23 Mm<sup>3</sup>/año (0.7 m<sup>3</sup>/s) y las reservas de 340200 Mm<sup>3</sup> (millones de metros cúbicos). Su extracción actual es del orden de los 0.02 m<sup>3</sup>/s utilizada para cubrir las necesidades del abastecimiento público y el riego.

#### **- Acuífero Betulia Arenoso – Qal(8)**

El Acuífero Betulia Arenoso aflora en la parte suroccidental de la plancha 5-04 ocupando parte de los departamentos de Sucre y Córdoba, extendiéndose a partir de las estribaciones orientales de los Montes de María hasta la zona de ciénagas que limitan el borde occidental de la Depresión Momposina, cubriendo un área de aproximadamente 2000 km<sup>2</sup>.

El acuífero está conformado por intercalaciones de arenas, gravas y arcillas en capas no continuas en la horizontal, típicas de una depositación fluvio deltáica, desarrollando

acuíferos discontinuos de tipo multicapas, de extensión local, cuyo espesor total puede llegar a alcanzar los 700 m. Reposan sobre una secuencia arcillosa impermeable conocida como Miembro Betulia Arcilloso.

Entre las poblaciones de Galeras, La Unión, Caimito y San Marcos, existe una amplia zona de recarga con flujo esencialmente intergranular de mediana capacidad de infiltración, a partir de la cual se generan los flujos regionales profundos que se dirigen al oriente hacia la Depresión Momposina.

El Acuífero Betulia Arenoso contiene agua predominantemente bajo condiciones libre a semiconfinada, localmente se puede comportar como confinado, debido a las intercalaciones arcillosas.

El acuífero es captado por cerca de 25 pozos con profundidades entre 45 y 250 m, siendo frecuente los pozos con 80 m de profundidad. Los niveles estáticos en este acuífero oscilan entre 10 y 45 m y los caudales de producción varían desde 1 hasta 20 l/s con un promedio de 8 l/s. La transmisividad fluctúa desde 30 hasta 150 m<sup>2</sup>/día con coeficientes de almacenamiento de 9.0 E-03 hasta 1.0 E-07, indicando el desarrollo de acuíferos semiconfinados a confinados.

En la población de Caimito (Sucre) existe un pozo que produce 13 l/s con nivel dinámico de 24 m, transmisividad de 250 m<sup>2</sup>/día y coeficiente de almacenamiento de 4.3 E-03. Pruebas de bombeo realizadas en un pozo de 45 m de profundidad situado en la localidad de San Marcos, indican para un caudal de 5 l/s un nivel dinámico de 27 m, valores para el acuífero de 115 m<sup>2</sup>/día de transmisividad y coeficiente de almacenamiento de 1.2 E-05 (Hidrogeocol Ltda, 1999).

En la localidad de Sincé hay dos pozos que captan este acuífero con profundidades de 125 y 185 m, hallándose el nivel estático a 42 m, con producciones de 3 y 8 l/s y transmisividades para el acuífero entre 30 y 70 m<sup>2</sup>/día.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 120 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.001 y ancho de corriente (B) de 70000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 2000 km<sup>2</sup>, espesor de 500 m y una porosidad eficaz de 0.21. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de 3 Mm<sup>3</sup>/año (0.1 m<sup>3</sup>/s) y reservas pasivas de 210000 Mm<sup>3</sup> (millones de metros cúbicos). Su extracción actual es del orden de los 0.03 m<sup>3</sup>/s utilizada para cubrir las necesidades de abastecimiento público principalmente.

#### **4.3.2.2. Acuíferos y Unidades Confinantes del Terciario**

Estos acuíferos se encuentran principalmente hacia el borde oriental de plancha, en los departamentos de Córdoba, Bolívar, Sucre y Atlántico y en el sector central de la misma, haciendo parte de los departamentos del Magdalena y Cesar. Generalmente son acuíferos multicapas de tipo confinado compuestos por intercalaciones de areniscas,

conglomerados, limolitas y arcillolitas depositadas en ambientes marino y continental. Al Terciario Superior (Neógeno), pertenecen los acuíferos Arroyo Grande, Popa, Morroa, Necesidad, Sabanalarga, Chivolo, Fundación, Tubará, Cuesta, Cerrito y Guayabo y al Terciario Inferior (Paleógeno), los acuíferos Toluviejo y Maco.

Los anteriores acuíferos están separados indistintamente por unidades de carácter confinante como las formaciones Sincelejo Inferior, Arjona, Zambrano y Carmen, constituidas por arcillolitas, limolitas y niveles de areniscas sucias del Neógeno y por las formaciones Chengue, Ciénaga de Oro, San Jacinto, Perdices, Los Cuervos, Barco, San Cayetano y Turbiditas de Luruaco compuesta por shale y arcillas carbonáceas, limolitas y areniscas finas del Paleógeno (Cuadro 4.1).

#### **- Acuífero Arroyo Grande – NgQt(1)**

Está ubicado en el extremo noroccidental de la plancha 5-04, aledaño a la línea costera del Mar Caribe en el departamento de Bolívar, con una extensión de aproximadamente 62 km<sup>2</sup>. Está constituido por gruesas intercalaciones de arenas, gravas y arcillas con frecuentes cambios de facies en la horizontal, de edad Plio-Pleistoceno.

El acuífero es producto de un relleno aluvial con alguna influencia marina en una pequeña fosa tectónica limitada por fallas normales de dirección noreste, probablemente ocasionado por un antiguo cauce del Río Magdalena, inclinado hacia el mar. Su espesor es de 120 m y descansa discordantemente sobre los sedimentos permeables de la Unidad Detrítica del Popa.

En la región de Arroyo Grande, el acuífero es predominantemente de tipo libre abierto al mar pero por la presencia de intercalaciones arcillosas puede existir un confinamiento local. La principal zona de recarga del acuífero se encuentra en las pequeñas elevaciones que lo rodean y a través de los cauces superficiales durante las épocas de lluvias. La descarga natural de este acuífero ocurre mediante flujos regionales hacia el mar y la artificial mediante la explotación de pozos y aljibes.

Los niveles estáticos del agua subterránea se localizan a profundidades entre 5 y 10 m. Presenta capacidades específicas entre 2 y 5 l/s/m. Las producciones de los pozos con profundidades entre 35 y 100 m., oscilan entre 5 y 35 l/s. La transmisividad es variable con valores que fluctúan desde 50 en los bordes del acuífero hasta 2800 m<sup>2</sup>/día en su parte central. Igualmente la conductividad hidráulica varía entre 1 y 3.5 m/día.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 1800 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.0016 y ancho de corriente (B) de 9000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 62 km<sup>2</sup>, espesor de 120 m y una porosidad eficaz de 0.2. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de 9.5 m<sup>3</sup>/año (0.3 m<sup>3</sup>/s) y reservas pasivas de 1488 Mm<sup>3</sup>. El caudal de explotación actual se estima en 0.045 m<sup>3</sup>/s. El agua es utilizada fundamentalmente para abastecimiento público. El peligro de contaminación por

intrusión del agua de mar está supeditado al manejo y riguroso control de su explotación.

#### **- Acuífero Popa - NgQt(2)**

Este acuífero se encuentra ubicado en la zona costera del mar Caribe hacia el noroccidente del departamento del Atlántico y en la región centro-occidental del departamento de Bolívar.

Está representado por la Formación Popa, constituida en la base por areniscas de grano muy fino friables con intercalaciones de limolitas y arcillolitas (Unidad Detrítica del Popa), y hacia el techo por calizas y margas coralinas débilmente fracturadas y carstificadas, con un espesor total no mayor de 280 m, depositada en un ambiente marino de aguas someras durante el Plio-Pleistoceno. En el pozo estructural Barú -1 el espesor total de estos depósitos alcanza unos 160 m. Los niveles inferiores presentan valores de resistividad entre 15 y 25 ohm-m para arenas saturadas con agua salobre a poco dulce, mientras que los niveles calcáreos saturados tienen resistividades desde 25 hasta 100 ohm-m.

La principal fuente de recarga del agua subterránea es el agua lluvia infiltrada directamente a través de las fracturas y oquedades. La descarga natural se efectúa mediante manantiales de fracturas con caudales entre 1 y 4 l/s y algunos pozos.

En la población de Turbaco, Departamento de Bolívar, Ingeominas (1984) construyó un pozo a una profundidad de 170 m que atravesó 50 m del nivel calcáreo superior y 120 m de intercalaciones de areniscas muy finas y arcillolitas, midiéndose un nivel estático a 55 m de profundidad. El pozo produjo un caudal de 3 l/s con un abatimiento de 14.5 m, obteniéndose valores de transmisividad de 150 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 2.0 E-05 para el acuífero. En la localidad de Santa Rosa, situada al nororiente de Cartagena, el mismo instituto, construyó un pozo a una profundidad de 150 m, que captó la parte media del nivel arenoso inferior (Unidad Detrítica del Popa), produciendo un caudal de 4.5 l/s a partir de un nivel estático de 5 m y un abatimiento de 47 m. Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento para esta zona del acuífero fueron de 20 m<sup>2</sup>/día y de 2.0 E-06 respectivamente.

#### **- Acuífero Morroa – NgQp(1)**

Este acuífero está ubicado en el extremo suroccidental de la plancha 5-04, aflorando en una franja angosta y alargada con dirección suroeste-noreste, desde el Municipio de Sahagún en el departamento de Córdoba hasta el Municipio de Ovejas en el Departamento de Sucre, con un área aflorante de aproximadamente 1700 km<sup>2</sup>.

El Acuífero Morroa hace parte del miembro superior de la Formación Sincelejo, dividida en un miembro superior arenoso y otro inferior arcilloso, conformado por abanicos y cauces aluviales. Está compuesto por una secuencia de areniscas, conglomerados y arcillas con nódulos calcáreos, presentando cambios de facies tanto laterales como verticales.

El área aflorante del acuífero se constituye en su área de recarga, de alta capacidad de infiltración, con flujo esencialmente intergranular, levantada a manera de bloque por fallas normales con inclinación hacia el oriente, descansando concordantemente sobre el miembro inferior arcilloso de la Formación Sincelejo. El bloque hundido hace parte de la Depresión Momposina donde el citado acuífero se encuentra cubierto, de arriba hacia abajo, por sedimentos correspondientes al acuífero La Mojana y la Formación Betulia. Sus capas tienen un rumbo N25°E con una inclinación hacia el oriente que varía desde 25° en la base hasta 5° en el techo y un espesor entre 700 y 1170 m. El Acuífero Morroa también aflora en un área restringida cercana al Río Magdalena, en alrededores de las poblaciones de Buenavista y Henequén.

Este acuífero contiene agua bajo condiciones predominantes de tipo libre a semiconfinado en su área de afloramiento, mientras que en el área de almacenamiento son de extremo confinamiento. Los valores de transmisividad oscilan desde 50 hasta 550 m<sup>2</sup>/día y coeficientes de almacenamiento entre 1.5E-02 y 7.5E-05. El agua lluvia infiltrada en la superficie del terreno al llegar a las capas inferiores del acuífero, comienza a moverse muy lentamente como un flujo regional profundo hacia el oriente. La descarga también se produce por la intensa explotación, principalmente de pozos y en menor proporción por aljibes localizados en el área de recarga. Los caudales de producción de los pozos varían entre 4 y 100 l/s, dependiendo de la profundidad, que fluctúa entre 50 y 400 m.

Los niveles piezométricos del acuífero en el sector occidental de la Depresión Momposina, se encuentran desde saltantes hasta 6 m de profundidad. Las capacidades específicas son altas, entre 2 y 5 l/s/m con conductividades hidráulicas de 0.5 a 1 m/día.

Las aguas de este acuífero se utilizan preferencialmente para el abastecimiento público a las poblaciones de Sincelejo, Corozal, Ovejas, Sahagún, Chinú y otras, en menor grado para el riego de cultivos y la ganadería.

Para el cálculo de los recursos y las reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 100 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.025 y ancho de corriente (B) de 75000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 1700 km<sup>2</sup>, espesor de 500 m y una porosidad eficaz de 0.26. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de 68 Mm<sup>3</sup>/año (2 m<sup>3</sup>/s) y las reservas pasivas para el área de afloramiento del Acuífero Morroa calculados de 221000 Mm<sup>3</sup> (millones de metros cúbicos).

Su extracción actual, es cercana a los 1.34 m<sup>3</sup>/s, realizada mediante varios campos de pozos situados a lo largo de la zona de recarga del acuífero. La explotación no controlada del Acuífero Morroa ha venido generando, desde el año 1969, descensos de los niveles estáticos de 4 m/año, hallándose actualmente a profundidades desde 30 a 68 m. Esta situación se debe quizás a la errónea ubicación de los pozos o a una explotación intensiva.

#### **- Acuífero Necesidad – NgQp(2)**

Ubicado en la provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica, en el extremo más oriental de la plancha 5-04, en los límites con la República de Venezuela, representado por la Formación Necesidad. Litológicamente está constituido por conglomerados pobremente consolidados con cantos de rocas ígneas y metamórficas embebidos en una matriz arenosa, con intercalaciones de areniscas y arcillolitas.

A pesar de carecer de estudios hidrogeológicos, se considera, por su litología, un acuífero potencial de alta capacidad específica, entre 2 y 5 l/s/m, recargado directamente por el agua lluvia y las corrientes superficiales y probablemente por flujos subterráneos provenientes del Acuífero Guayabo. El flujo subterráneo se dirige hacia la república vecina.

El Acuífero Necesidad se encuentra depositado directamente sobre el Acuífero Guayabo y podrían estar conectados hidráulicamente, reposando este último sobre la Formación Los Cuervos de carácter impermeable.

#### **- Acuífero Sabanalarga – NgQp(3)**

Se encuentra en la parte central del departamento del Atlántico entre las poblaciones de Manatí en el Sur hasta el norte de la población de Sabanalarga, continuando en la plancha 5-01 haciendo parte del Sinclinorio de Sabanalarga. Su área de afloramiento cubre una extensión de aproximadamente 60 km<sup>2</sup>, constituida por una alternancia de areniscas y conglomerados poco consolidados con esporádicas intercalaciones de arcillolitas. Su espesor total que no sobrepasa los 200 m, fue depositado en un ambiente fluvial durante el Mioceno-Pleistoceno, sobre un basamento arcilloso representado por la Formación Pérdices.

El acuífero Sabanalarga es de extensión regional, multicapas y de tipo confinado, siendo recargado por precipitación directa. Sus áreas de recarga la constituyen el afloramiento de las rocas acuíferas, con sedimentos de alta capacidad de infiltración. La dirección del flujo subterráneo es hacia el norte. La descarga artificial ocurre a través de numerosos aljibes y algunos pozos.

El acueducto de la población de Sabanalarga se abastece de cuatro pozos construidos a profundidades entre 100 y 150 m que producen caudales entre 5.0 y 25 l/s. En esta población, Ingeominas (1984), construyó un pozo a una profundidad de 150 m con un nivel piezométrico de 27 m y un nivel dinámico de 45.5 m, obteniéndose una transmisividad de 300 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 1.0 E-04. En la población de Baranoa Ingeominas (1985) construyó un pozo de 198 m de profundidad que produjo un caudal de 15.5 l/s a partir de un nivel piezométrico de 15 m, abatimiento de 25 m y transmisividad de 60 m<sup>2</sup>/día

#### **- Acuífero Chivolo – Ngm(2)**

Aflora en la parte central de la plancha 5-04, en el departamento del Magdalena, en forma de parches aislados depositados sobre la Formación Zambrano de carácter

impermeable. Está conformado por rocas de edad Terciario-Cuaternario constituidas por intercalaciones de capas gruesas a medias de areniscas calcáreas de color blancuzco y de areniscas limosas de grano fino a medio con fragmentos de yeso y cuarzo, y capas delgadas de arcillolitas y limolitas. Con frecuencia aparecen algunos cantos subredondeados hasta de 0.7 m de diámetro de areniscas calcáreas. Su espesor total, observado en los pozos 32 III C-1 Chivolo (Ingeominas, 1992) y Astrea -1 (Insfopal, 1979) es de aproximadamente 70 m. A partir de esta profundidad, se encuentra una gruesa secuencia de arcillolitas plásticas de color gris oscuro y gris verdoso con fragmentos de conchas y partículas calcáreas pertenecientes a la Formación Zambrano.

La recarga de este acuífero se presenta únicamente a partir del agua lluvia que cae directamente sobre sus reducidas áreas de afloramiento. Las corrientes superficiales que lo atraviesan son de carácter intermitente y fluyen en forma torrencial durante los cortos períodos de invierno.

El Acuífero Chivolo es de tipo libre a semilibre con un nivel estático que fluctúa entre 9.5 y 14 m de profundidad. Es captado por muy pocos pozos con profundidades no mayores de 80 m que producen caudales desde 3.0 hasta 6.0 l/s con niveles dinámicos entre 26 y 36 m. El valor de la transmisividad varía desde 20 hasta 60 m<sup>2</sup>/día y una porosidad de 0.015, empleándose el agua fundamentalmente para el abastecimiento público.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 60 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.00065 y ancho de corriente (B) de 20000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 630 km<sup>2</sup>, espesor de 70 m y una porosidad eficaz de 0.015. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de 780 m<sup>3</sup>/d (0.009 m<sup>3</sup>/s) y las reservas en 661.5 Mm<sup>3</sup>. El caudal de explotación actual se estima en 0.08 m<sup>3</sup>/s. El agua es utilizada principalmente para el abastecimiento público y la industria.

#### **- Acuífero Fundación - Ngm (3)**

Aflora en el sector noroccidental de la plancha 5-04, a lo largo de una delgada franja recostada sobre las estribaciones suroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el Departamento del Magdalena. Está conformado por areniscas de grano grueso a medio y menos frecuentemente areniscas de grano fino, niveles irregulares de conglomerados e intercalaciones de arcillolitas y limolitas con lentes delgadas de arenisca calcárea, depositadas durante el Plioceno – Pleistoceno Superior, con un espesor de aproximadamente 580 m (Barrera et al 1997). Suprayace a una secuencia arcillosa de carácter impermeable representada por la Formación Zambrano.

El acuífero Fundación se considera de tipo libre, recargado directamente por la precipitación y algunas corrientes superficiales perennes provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, principalmente los ríos Aracataca y Fundación. Sus áreas de recarga consideradas de baja capacidad de infiltración por su fina granulometría, están

constituidas por una serie de colinas de poca altura, por lo general no mayor de 100 m.s.n.m. Este acuífero, a su vez recarga, posiblemente, el acuífero Cuaternario de la Zona Bananera de Santa Marta mediante flujos subterráneos laterales.

Este acuífero es de bajas capacidades específicas, entre 0.05 y 1.0 l/s/m. Las producciones de los pozos varían entre 4.0 y 6.0 l/s con profundidades entre 30 y 110 m. Los niveles estáticos se localizan entre 3.0 y 10 m de profundidad. La transmisividad del acuífero varía desde 10 hasta 200 m<sup>2</sup>/día y la conductividad hidráulica promedio es de 0.3 m/día. Entre las poblaciones de Fundación y Bellavista, se han construido varios pozos que producen caudales desde 1.5 hasta 5.0 l/s con transmisividad entre 60 y 200 m<sup>2</sup>/día.

Ingeominas (1998) reporta captaciones representadas por dos pozos con profundidades promedio de 100 m que producen caudales desde 10 hasta 15 l/s, y un número no mayor de diez aljibes con profundidades entre 1.5 y 3.0 m. La transmisividad obtenida a partir de pruebas de bombeo en los pozos, se estima en 110 m<sup>2</sup>/día y capacidades específicas del orden de 0.7 l/s/m.

#### **- Acuífero Tubará – Ngm(4)**

Aflora en una pequeña área no mayor de 50 Km<sup>2</sup> en la parte centroccidental del Departamento del Atlántico, correspondiente al sector meridional de las estructuras Sinclinal de Tubará y Anticlinal de Sibarco. Es un acuífero compuesto por una serie de unidades Terciarias de ambiente transicional a continental, litológicamente representados por intercalaciones de areniscas, conglomerados y arcillolitas con un espesor cercano a los 600 m. Su área de recarga la constituyen sus afloramientos en pequeñas serranías con alturas no mayores de 300 m.s.n.m., dirigiéndose el flujo subterráneo principalmente hacia el mar Caribe.

El acuífero Tubará es de tipo confinado, multicapas, con valores de transmisividad que varían desde 20 hasta 85 m<sup>2</sup>/día y coeficientes de almacenamiento de 1.0 E-04 a 8.0 E-05. Los caudales de los pozos que lo captan en diversos lugares van desde 5.0 hasta 12 l/s. Dada su poca extensión en esta plancha, sus características hidrogeológicas se describen con más detalle en la memoria técnica correspondiente a la plancha 5-01.

#### **- Acuífero Cuesta – Ngm(5)**

El Acuífero Cuesta, representado por la Formación Cuesta, se encuentra distribuido ampliamente en el subsuelo del valle del Río Cesar entre las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá hacia el sur, a partir del trazo de la Falla Garupal, hasta el Río Ariguaní al occidente, ocupando un área de aproximadamente 6500 km<sup>2</sup>. Aflora entre las poblaciones de La Loma y Becerril, ocupando una extensión de aproximadamente 110 Km<sup>2</sup>. Según los registros litológicos de los pozos exploratorios para petróleo El Paso-1, El Paso-2 y El Paso-3, se encuentra cubierto por los sedimentos correspondientes al Acuífero Cuaternario Somero de poco espesor (de 20 a 30 m) descansando sobre la Formación Los Cuervos considerada de carácter impermeable. El Acuífero Cuesta está constituido por areniscas cuarzosas de grano



medio, intercaladas con conglomerados de matriz arenosa y arcillolitas limosas, semiconsolidados. Su espesor total puede llegar a los 600 m (Angel et al., 1995).

En la región La Loma-Becerril es captado por alrededor de 12 pozos con profundidades de 90 a 140 m que tienen niveles estáticos desde 3.5 hasta 10.5 m, los cuales entregan caudales entre 2.5 hasta 5.0 l/s. Presenta valores de transmisividad entre 50 y 200 m<sup>2</sup>/día, coeficientes de almacenamiento del orden de 1.0E-05, conductividades hidráulicas menores de 1.0 m/día y bajas capacidades específicas, entre 0.05 y 1.0 l/s/m. El acuífero es de extensión regional, multicapas y de tipo confinado.

Su recarga ocurre principalmente a partir de flujos regionales laterales provenientes del Acuífero La Luna que aflora en el piedemonte de la Serranía de Perijá y al suroriente de la Sierra Nevada de Santa Marta. La dirección del flujo subterráneo probablemente es hacia el suroccidente en dirección a la Ciénaga de Zapatosa y el Río Magdalena que podrían constituirse en sus zonas de descarga.

El pozo estratigráfico identificado en el mapa hidrogeológico con el número 46, denominado El Paso-3, presenta de techo a base, hasta los 600 m de profundidad rocas Terciarias saturadas con agua dulce, de 600 a 1700 m rocas Terciarias con agua salobre a salada y de 1700 m hacia abajo, rocas Cretácicas con agua salada y salmueras.

En el pozo estratigráfico Cesar IX, No. 47 en la cobertura, perforado en las cercanías de La Jagua de Ibirico, se observa que los acuíferos Terciarios y Cretácicos contienen agua dulce hasta los 1100 m de profundidad, más abajo el acuífero Cretácico tiene aguas salobres y saladas.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 200 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.2 y ancho de corriente (B) de 40000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 6500 km<sup>2</sup>, espesor de 200 m y una porosidad eficaz de 0.15. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos de 584 M m<sup>3</sup>/año (18.5 m<sup>3</sup>/s) y las reservas pasivas de 195000 Mm<sup>3</sup>. La explotación actual es cercana a los 2.1 m<sup>3</sup>/s. El agua de este acuífero es utilizada para el consumo humano, el riego y la ganadería.

En la provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica, se encuentra cubierto por el Acuífero Depósitos Aluviales, extendiéndose desde el norte de la localidad de Tamalameque hasta cercanías de la población de La Gloria, continuando al sur de la plancha. En esta provincia la granulometría disminuye considerablemente e igualmente la producción de los pozos que se reduce a caudales entre 1.5 y 10 l/s. Se encuentra cubierto por depósitos Cuaternarios permeables y yace indistintamente sobre las formaciones impermeables Los Cuervos y Barco.

#### **- Acuífero Guayabo - Ngc**

Se encuentra ubicado en el extremo oriental de la plancha 5-04, en la provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica, en forma de una banda estrecha que rodea al Acuífero Necesidad en sentido norte - sur. Está formado por areniscas friables, limolitas, arcillolitas arenosas y arcillolitas, con un espesor promedio de 800 m. En su parte basal predominan las arcillolitas y las intercalaciones de areniscas, presentan baja permeabilidad. La parte superior es principalmente arenosa con bancos de areniscas friables de grano fino a medio, con bajo porcentaje de arcilla en la matriz.

Ingeominas (1982) construyó en el sector de Villa del Rosario (fuera del área de la plancha) un pozo a una profundidad de 336 m que capta el conjunto superior arenoso de este acuífero, el cual produjo un caudal de 2.0 l/s con un abatimiento de 11.5 m. La transmisividad obtenida fue de 25 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 5.0 E-04.

De acuerdo con la información del pozo estratigráfico Puerto Barco, identificado en el mapa hidrogeológico con el número 54, situado en cercanías al Río Catatumbo, las rocas del Paleógeno que posiblemente infrayacen al Acuífero Guayabo, contienen agua dulce desde la superficie hasta los 600 m de profundidad y entre los 600 y los 2500 m aparecen rocas Cretácicas saturadas con agua salada, descansando sobre un basamento ígneo-metamórfico.

#### **- Acuífero Cerrito – Ng(1)**

Esta representado por la Formación Cerrito que aflora al occidente de la ciudad de Sincelejo, en el Departamento de Sucre, conformando una franja estrecha y alargada en la dirección noreste. Según Barrera (1999) consta de una alternancia de lodolitas y areniscas de grano fino calcáreas en ocasiones bioclásticas y lentes discontinuos de conglomerados e intercalaciones de limolitas y areniscas arcillosas y areniscas de grano fino hacia la parte media y superior. Presenta además concreciones de limolitas y areniscas de grano muy fino, calcáreas. Su espesor es cercano a los 600 m, depositados en un ambiente marino de plataforma nerítica durante el Mioceno medio, sobre la Formación Carmen de carácter impermeable. Se encuentra cubierta por la Formación San Jacinto, también impermeable.

Los niveles arenosos compactos del Acuífero Cerrito, especialmente en su parte superior, pueden desarrollar una alta porosidad secundaria por fracturamiento para almacenar y transmitir aguas subterráneas, de hecho en algunas haciendas localizadas entre La Palmira y Sincelejo se han perforado pozos que captan aguas de este acuífero, no obstante lo anterior su ambiente de formación permite suponer la presencia de aguas de regular calidad química.

En el municipio de El Guamo, departamento de Bolívar, Infopál (1962) construyó un pozo a una profundidad de 80 m con agua de mala calidad por contenido alto en cloruros y sulfatos. En alrededores del Carmen de Bolívar construyó tres pozos con

profundidades entre 60 y 90 m captando las intercalaciones de areniscas calcáreas que produjeron agua salada con un contenido de cloruros de 13000 ppm.

Los recursos calculados a nivel pronóstico fueron evaluados en  $15 \text{ Mm}^3/\text{año}$  ( $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y las reservas en aproximadamente  $2800 \text{ Mm}^3$ . La explotación actual es cercana a los  $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ . El agua de este acuífero es utilizada en su mayor parte para el consumo doméstico.

#### **- Acuífero Toluviejo – PgNgm(1)**

Está conformado por la Formación Toluviejo de edad Eoceno Superior, constituida principalmente por una sucesión de calizas arrecifales con un conglomerado cuarzoso hacia la base e intercalaciones de areniscas calcáreas muy fosilíferas hacia la parte media y alta, las cuales aumentan hacia el sur en las localidades de Varsovia y Palmito. (Barrera, 1998)

Las mejores exposiciones se encuentran en el Anticlinal de Toluviejo de donde deriva su nombre. También está presente en las colinas de la parte noroccidental del Departamento de Sucre, conformando una franja con rumbo N  $45^\circ$  E, de 16 km de longitud y amplitud variable de sur a norte, entre las poblaciones de Palmito y Chalán respectivamente, que conforman sus principales áreas de recarga. De manera un poco más aislada se halla presente en la cuchilla de Piedra Alta al noroeste de la población de Morroa. El espesor es variable. Kassem (1964) reporta alrededor de 350 m en la sección comprendida entre San Andrés de Sotavento y Tuchin (Córdoba).

Capas potencialmente acuíferas pueden encontrarse en la parte inferior del acuífero, donde las areniscas friables y conglomeráticas con cantos principalmente de cuarzo, permiten inferir posibilidades de almacenamiento de aguas subterráneas. En las calizas de la parte media y superior, el fracturamiento y disolución de estas rocas permite la infiltración de las aguas lluvias que posteriormente emergen a superficie en forma de manantiales, de los cuales se destacan los que fluyen en los alrededores de las poblaciones de Toluviejo y Colosó.

En la población de Toluviejo se encuentran varios manantiales que producen caudales entre 2.0 y 4.0 l/s utilizados para el abastecimiento de la población. En la localidad de Colosó existe un manantial con un caudal de aproximadamente 10 l/s que drena las calizas carstificadas, constituyéndose en la fuente principal de su acueducto.

El cálculo de los recursos a nivel pronóstico fueron evaluados en  $25 \text{ Mm}^3/\text{año}$  ( $0.80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y las reservas en  $37500 \text{ Mm}^3$ . Actualmente se extrae un volumen de aproximadamente  $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$ , empleándose el agua fundamentalmente para abastecimiento doméstico y público.

#### **- Acuífero Maco – PgNgm(1)**

Aflora al noroeste del Departamento de Sucre, al norte de Toluviejo, desde Macaján hasta Cacique y en los alrededores de Chalán, a lo largo de una franja angosta y

alargada en la dirección noreste, constituido preferencialmente por conglomerados de guijarros y guijos, derivados principalmente de rocas volcánicas andesíticas y basálticas, en menor proporción rocas graníticas, areniscas, calizas y rocas metamórficas. Hacia el tope de las capas varía a areniscas líticas subfeldespáticas. Su espesor se calcula en 160 m, depositado durante el Eoceno Medio sobre las formaciones impermeables San Cayetano y Cansona (Barrera, 1999).

Por su litología y buena exposición en sus áreas de recarga, se considera un acuífero potencial, aún cuando carece de estudios hidrogeológicos.

#### **4.3.2.3. Acuíferos y Unidades Confinantes del Cretáceo**

Los principales acuíferos de edad Cretácica presentes en la plancha 5-04, se encuentran asociados a rocas carbonatadas, localizadas a lo largo de la Serranía de Perijá y en algunos sectores de la Sierra Nevada de Santa Marta y del Macizo de Santander, en las cuales el agua que se percola a través del suelo contiene pequeñas cantidades disueltas de dióxido de carbono y ácidos orgánicos, convirtiéndolas en aguas débilmente ácidas capaces de disolver los minerales carbonatados de estas rocas. La disolución ocurre con mayor frecuencia y eficacia a lo largo de los planos de fracturas, razón por la cual el grado de desarrollo del karst en estos acuíferos depende del grado de fracturamiento.

Debido a que la información hidrogeológica en las regiones mencionadas es de carácter muy regional, se decidió unir en un solo acuífero, denominado La Luna, el corte carbonatado del Cretáceo Superior constituido por las formaciones La Luna y Aguas Blancas y para el Cretáceo Inferior el conformado por el Grupo Cogollo.

Generalmente los acuíferos del Cretáceo Superior e Inferior, en sus áreas de almacenamiento, están cubiertos por formaciones Terciarias arenosas y arcillosas, algunas de ellas con niveles de carbón, las cuales le originan su carácter confinante, y por sedimentos Cuaternarios permeables.

##### **- Acuífero La Luna - Kism - Ksm**

El acuífero se encuentra en el subsuelo del valle del Río Cesar, con áreas de afloramiento en los piedemontes de la Serranía de Perijá, del extremo meridional de la Sierra Nevada de Santa Marta y del Macizo de Santander, ocupando un área total de aproximadamente 1580 km<sup>2</sup>. Está compuesto por las formaciones La Luna y Aguas Blancas.

Litológicamente el acuífero está constituido por gruesas intercalaciones de calizas, calizas arenosas y delgadas capas de limolitas calcáreas, afectadas por grietas, dolinas y cavernas, con un espesor de 800 m, aun cuando las rocas carbonatadas Cretácicas se continúan más abajo de los 2000 m pero conteniendo aguas salobres y saladas. El piso impermeable de este acuífero es el basamento ígneo-metamórfico de edad Paleozoico.

Este acuífero es de tipo agrietado cárstico, su confinamiento está condicionado por la presencia de los depósitos Terciarios de las formaciones Barco y los Cuervos y los depósitos Cuaternarios que lo cubren. Sus áreas de recarga están situadas a unos 500 m de altura en los piedemontes.

Los afloramientos de las rocas Cretácicas situados en las zonas topográficamente altas de los piedemontes, se constituyen en importantes áreas de recarga, donde el agua que se infiltra se mueve a través de fracturas y oquedades en las rocas hasta alcanzar el área de almacenamiento del acuífero en la parte plana del valle del Río Cesar.

El flujo subterráneo al alcanzar el plano de las principales fallas que afectan el valle, posiblemente asciende, alimentando los acuíferos Terciarios suprayacentes, que se constituyen en su área de descarga, lo cual se corrobora por los altos niveles piezométricos de este acuífero que se encuentran a profundidades entre 0.6 y 9 m.

Por sus capacidades específicas este acuífero está catalogado desde baja hasta muy alta, con valores desde 0.05 hasta mayores de 5 l/s/m. Las producciones de los pozos con profundidades entre 150 y 300 m fluctúan entre 10 y 100 l/s. Entre las localidades de Codazzi y Becerril el espesor de este acuífero oscila entre 80 y 200 m. En esta región es captado por cerca de 60 pozos con profundidades de 60 a 180 m, los cuales presentan rendimientos entre 10 y 60 l/s.

Los valores de la transmisividad fluctúan entre 50 y 300 m<sup>2</sup>/día y su conductividad hidráulica desde 0.01 hasta 50 m/día. Esta variación está supeditada al grado de fracturamiento de las rocas.

Para el cálculo de los recursos y reservas pasivas a nivel de pronóstico en este acuífero se usaron los siguientes datos: transmisividad (T) de 300 m<sup>2</sup>/d, gradiente hidráulico (i) de 0.0002 y ancho de corriente (B) de 30000 m. En las reservas pasivas se utilizaron: área de 387 km<sup>2</sup> correspondiente a los afloramientos de esta unidad en el piedemonte de la Serranía de Perijá y Sierra Nevada de Santa Marta, afloramientos ubicados a mayores alturas no se tomaron en cuenta por la inaccesibilidad para su aprovechamiento. El espesor tomado de 200 m corresponde a la zona donde se encuentra fracturado y con un nivel de saturación. Se tiene una porosidad eficaz de 0.03. Los resultados de estos cálculos fueron: recursos del acuífero de 1800 m<sup>3</sup>/d (0.02 m<sup>3</sup>/s) y las reservas en 2322 Mm<sup>3</sup>. El caudal de explotación actual se estima en 0.53 m<sup>3</sup>/s. El agua es utilizada principalmente para el abastecimiento público, el riego de cultivos y la ganadería.

En la provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica está compuesto por calizas gris oscuras, duras, fosilíferas, con bandas ocasionales de liditas negras, y capas de arcillolitas laminadas negras, muy duras, bituminosas y lodolitas calcáreas con grandes concreciones y nódulos discoidales, capas delgadas de chert y rocas fosfóricas en la parte alta de la secuencia. Las calizas presentan fuerte olor a petróleo, al romperse. El

espesor varía de 50 a 300 m, depositados en ambiente de aguas someras cercanas al borde de la plataforma. Es productor de petróleo en el campo Petrólea.

#### **- Acuífero Cogollo - Kit**

En la provincia Costera – Vertiente Atlántica sus afloramientos ocupan una extensión de aproximadamente 85 Km<sup>2</sup>, restringidos al Oriente de las poblaciones de Becerril, Chiriguaná y al Sur de Curumaní, en el Departamento del Cesar.

Está compuesto de base a techo por una secuencia alternante de lutitas negras carbonosas, limolitas, arcillolitas y calizas negras bituminosas intercaladas con lentes de chert y areniscas calcáreas, con un espesor total de 180 m. En los estratos calcáreos no se observaron fenómenos de disolución y están poco afectadas por el fracturamiento, razón por la cual se consideran sus afloramientos de poca incidencia como área de recarga (Angel y Huguett, 1995).

El espesor del acuífero fluctúa entre 30 y 180. Es captado por cerca de 60 pozos que producen caudales entre 10 y 60 l/s. No obstante esta situación aparentemente favorable, la ubicación de pozos es muy difícil por cuanto el desarrollo del karst o el fracturamiento tiene una distribución muy errática, razón por la cual sus parámetros hidráulicos son variables. La transmisividad varía desde 30 hasta 200 m<sup>2</sup>/día y conductividades hidráulicas desde 0.5 hasta 20 m/día.

En la provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica, en la región correspondiente al Macizo de Santander, consta de arcillolitas negras laminadas intercaladas con calizas fosilíferas grises y una cantidad pequeña de limolitas arcillosas, su espesor varía entre 218 y 435 m. Es productora de petróleo en Tibú y Petrólea (Roberts, J.M., et. al., 1959).

### **4.3.3. Regiones Acuíferas con Buenas Posibilidades de Explotación**

En consideración a la geomorfología, a la conformación geológica-estructural, al conocimiento hidrogeológico regional de los acuíferos profundos de mayor interés que afloran o se encuentran en el subsuelo de la plancha 5-04 y a la relación entre el valor de sus recursos dinámicos y la explotación actual, se delimitaron las áreas con buenas posibilidades de explotación de aguas subterráneas con calidad físico-química aceptable para abastecimiento público, doméstico, riego u otros usos, teniendo en cuenta un manejo sostenible del recurso que evite el deterioro del mismo en calidad y cantidad.

Estas regiones acuíferas, se describen a continuación :

#### **4.3.3.1. Acuífero Arroyo Grande**

Se encuentra ubicado en la zona litoral del Mar Caribe. A pesar de su poca extensión (62 km<sup>2</sup>), se ha considerado que principalmente el área correspondiente a la parte sur y

central de éste acuífero presentan buenas posibilidades para su explotación, ya que sus recursos dinámicos superan a la explotación total actual.

En este acuífero se pueden construir pozos con profundidades hasta de 100 m, los cuales producirían caudales entre 10 y 40 l/s, siempre y cuando la producción total no supere el valor de los recursos evaluados en 0.3 m<sup>3</sup>/s, para evitar la penetración del agua del mar al acuífero.

El agua subterránea es de tipo bicarbonatada sódica a bicarbonatada clorurada cálcica, la cual deberá ser utilizada primordialmente para el abastecimiento público.

#### **4.3.3.2. Acuífero Cesar**

El área con mejores posibilidades de explotación de este acuífero se encuentra en la parte central del valle del Río Cesar entre las poblaciones de Villanueva al norte y Codazzi al suroccidente, donde según la dirección del flujo subterráneo regional, se encuentra su principal área de almacenamiento. Los pozos a construir tendrán una profundidad entre 200 y 300 m, esperando caudales de producción de 30 a 100 l/s.

El agua subterránea que se explotaría con estos pozos, es dulce, con conductividades eléctricas menores de 1000 umhos/cm y de tipo bicarbonatada sódica, apta para abastecimiento público y el riego.

#### **4.3.3.3. Acuífero Zona Bananera de Santa Marta**

Teniendo en cuenta que la menor explotación de este acuífero ocurre en su parte meridional entre las poblaciones de Sevilla y Fundación, se considera dicha área como la de mayor interés para la explotación de aguas subterráneas de buena calidad para el consumo humano y el riego, donde podrían construirse pozos con profundidades menores de 100 que captarían el acuífero Cuaternario o hasta 200 m para captar el acuífero Terciario subyacente (Acuífero Fundación) esperando caudales entre 5 y 30 l/s. El agua es dulce, de tipo clorurada sódica y en menor proporción sulfatada sódica.

#### **4.3.3.4. Acuífero Ariguani**

La zona con buenas posibilidades de explotación se extiende desde el occidente de la población del Copey hasta cercanías del Río Cesar, en forma de una banda estrecha y alargada, teniendo en cuenta los resultados reportados en la construcción del pozo Palmariguani-Bosconia, construido a una profundidad de 160 m, con filtros entre 52 y 87 m y entre 143 y 155 m, que produjo un caudal de 50 l/s con una capacidad específica mayor de 5.0 l/s/m. El agua subterránea es dulce, bicarbonatada sódica y apta para su consumo y el riego.

#### **4.3.3.5. Acuífero Betulia Arenoso**

El área con mejores posibilidades de explotación para este acuífero ocupa una zona muy amplia al oriente, conformada entre las poblaciones de San Marcos, Caimito y San Benito Abad y el cauce del Río Cauca.

Los pozos que se construirían en esta área, tendrían profundidades entre 150 y 200 m y producirían caudales desde 10 hasta 20 l/s. El agua es dulce, de tipo bicarbonatada sódica, con baja concentración de sólidos en solución, apta para el consumo humano y el riego.

#### **4.3.3.6. Acuífero Morroa**

La zona con buenas posibilidades de explotación, se ubica en una franja angosta de dirección paralela situada al oriente del área de afloramiento de las rocas acuíferas que conforman una estructura homoclinal inclinada al oriente con ángulos entre 5 y 25°, cubierta por aproximadamente 100 m de sedimentos arcillo-arenosos pertenecientes al Miembro Betulia Arcilloso.

Los pozos que allí se construyan tendrían profundidades entre 300 y 500 m para producir caudales 50 y 80 l/s. Los niveles piezométricos estarían cercanos a la superficie por efectos del confinamiento. El agua subterránea es dulce, de tipo bicarbonatada sódica o cálcica con salinidades entre 180 y 500 mg/l.

#### **4.3.3.7. Acuífero Cuesta**

Para este acuífero las áreas con mejores posibilidades de explotación corresponden; la primera a una franja alargada, limitada al norte y occidente por la Ciénaga de Zapatosa; al oriente por el Macizo de Santander y al sur por el Río Magdalena. El acuífero recomendado está constituido primordialmente por intercalaciones de areniscas y arcillolitas, cubierto por una delgada secuencia Cuaternaria. En esta área se pueden construir pozos con profundidades menores de 100 m que producirían caudales hasta de 10 l/s, con agua generalmente de buena calidad físico-química tanto para su el abastecimiento público y doméstico así como para el riego.

En la segunda área comprendida entre la población de Chiriguaná y el Río Calenturitas, se recomienda explotar tanto el Acuífero Cuesta como el acuífero Cretácico conformado por rocas carbonatadas. Aquí se pueden construir pozos con profundidades entre 300 y 400 m, que lograrían caudales hasta de 30 l/s.

#### **4.3.3.8. Acuífero La Luna**

El acuífero La Luna tiene dos zonas con buenas posibilidades para su explotación. La primera se extiende paralela al piedemonte de la Serranía de Perijá, desde cercanías de la población de la Jagua de Ibirico hasta alrededores de la población de La Paz. En esta



área se podrían construir pozos con profundidades entre 250 y 300 m para obtener caudales de 10 a 60 l/s.

#### **4.3.4. Zonas Acuíferas con Explotación Intensiva**

Las zonas acuíferas que actualmente presentan una explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo, se definieron de acuerdo con los siguientes criterios: concentración de pozos en un área relativamente pequeña, grandes volúmenes de extracción de agua subterránea y alteraciones significativas en el acuífero explotado. Esta situación se representa gráficamente en el Mapa de Unidades Hidrogeológicas, con un símbolo rectangular proporcional al tamaño del área explotada que rodea dichas zonas, colocando dentro de ella la inicial del acuífero explotado.

##### **4.3.4.1. Acuífero Cesar**

En el acuífero del Cesar se han definido dos zonas con alta explotación. Una de ellas se encuentra ubicada al suroriente de la ciudad de Valledupar, la cual ocupa una extensión aproximada a los 92 km<sup>2</sup>.

En esta zona se encuentran localizados pozos de explotación con una densidad de 0.87 pozo/km<sup>2</sup>. Las profundidades de estos pozos oscilan entre 50 y 160 m, con caudales de explotación entre 12 y 41 l/s. El agua es utilizada fundamentalmente para el abastecimiento público, doméstico y la irrigación de cultivos.

La segunda zona considerada de explotación intensiva, se halla entre el Río Sicararé y el norte de la localidad de Agustín Codazzi, captando el Acuífero La Luna de edad Cretácica, con un área aproximada de 115 km<sup>2</sup>. Se encuentran ubicados 45 pozos con una densidad de 0.4 pozo/km<sup>2</sup>. La profundidad de los pozos se ubica en un rango de 70 a 180 m, con caudales de 10 a 60 l/s. El uso del agua es principalmente para abastecimiento doméstico, ganadería y riego de cultivos.

##### **4.3.4.2. Acuífero Morroa**

Sobre este acuífero se localizan dos zonas intensamente explotadas. La primera corresponde al campo de pozos de Corozal, el cual ocupa una extensión de 30 km<sup>2</sup>, con 42 pozos de explotación, para una densidad de 1.4 pozo/km<sup>2</sup>. El rango de profundidad de los pozos se encuentra entre 200 y 400 m, los caudales de explotación varían entre 5 y 75 l/s. El agua se destina fundamentalmente para el abastecimiento público de las poblaciones de Sincelejo, Corozal y Betulia.

La segunda zona se localiza en el campo de pozos de la población de Ovejas, con una extensión aproximada de 20 km<sup>2</sup>, donde se encuentran 18 pozos de explotación, para una densidad de 0.9 pozos/km<sup>2</sup>. Las profundidades de los pozos fluctúan entre 100 y 260 m, con caudales desde 4 hasta 40 l/s. El agua se destina fundamentalmente para el abastecimiento público de las poblaciones de Ovejas y Carmen de Bolívar.

#### **4.3.5. Regiones con Flujos Artesianos Surgentes**

Las regiones con flujos artesianos surgentes se localizan en varios sectores de la plancha 5-04, identificadas por la presencia de pozos profundos surgentes que captan acuíferos generalmente de tipo multicapas.

Una zona con flujos artesianos surgentes se ubica en el valle del Río Cesar al suroccidente de la ciudad de Valledupar, donde un pozo con una profundidad de 96 m resultó “saltante” con un nivel estático de +2 m. La surgencia natural está relacionada con el Acuífero del Cesar a partir de un confinamiento local que se produce en este acuífero debido a las intercalaciones arcillosas que presenta, pues en esta zona llega alcanzar un espesor cercano a los 300 m.

En el Acuífero Morrosquillo fueron localizados 4 pozos surgentes con profundidades que oscilan entre 29 y 119 m. La surgencia probablemente proviene de niveles estáticos altos ubicados a unos 100 m de altura en el área de recarga del acuífero recostada al flanco occidental de los Montes de María.

En el Acuífero Ariguaní se encuentra un pozo surgente con 163 m de profundidad cuya surgencia posiblemente se deba a una conexión hidráulica con los acuíferos Terciarios infrayacentes.

Otros dos sectores de surgencia se ubican uno sobre el Acuífero Betulia Arenoso, captado a una profundidad de 152 m y que se encuentra confinado por el Betulia Arcilloso con un espesor aproximado de 100 m. El otro se encuentra localizado al nororiente de la población de San Benito Abad, relacionado posiblemente con un confinamiento local del Acuífero Betulia Arenoso que contiene intercalaciones arcillosas.

## 5. GEOELÉCTRICA

### 5.1. GENERALIDADES

De los métodos geoelectricos que buscan determinar los valores de resistividad de las capas geológicas, el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), es el de mayor aplicación en el estudio del subsuelo para la exploración y evaluación de aguas subterráneas, por su relativa facilidad de aplicación, sus bajos costos y la posibilidad de correlación de sus resultados (valores de resistividad) con el grado de saturación de las rocas, cambios litológicos y en algunos casos con la calidad del agua, lo cual permite la discriminación de capas geológicas permeables e impermeables saturadas o no de agua.

El mapa de características de geoelectricas considerado en la elaboración de las planchas 1:500.000 que conforman el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, se presenta como un mapa de isolíneas de profundidad de la base de los principales acuíferos determinadas por los estudios geoelectricos realizados en el área correspondiente a la Plancha 5-04. En total se recopilaron 1468 Sondeos Eléctricos Verticales, con aberturas (AB/2) entre 200 y 900 m y profundidades alcanzadas entre 50 y 400 m, distribuidos en 10 zonas (acuíferos) consideradas de importancia hidrogeológica regional.

Aunque los Sondeos Eléctricos Verticales no cubren toda el área de la plancha hay una densidad aceptable en la mayoría de los acuíferos estudiados, siendo los acuíferos Cuesta y Morroa los que mayor densidad presentan y los acuíferos de Magdalena y Betulia los de menor densidad.

Los valores de resistividad encontrados en el área correspondiente a la plancha 5-04 para los sedimentos no consolidados del cuaternario y las diferentes formaciones estudiadas, se encuentra entre 1 y 3000 Ohm-m, tendiendo a ser mayores hacia la Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía de Perijá y menores hacia el occidente de la plancha – Golfo de Morrosquillo.

Indudablemente el mapa no pretende, ser un mapa estructural de las diferentes formaciones que conforman los acuíferos, que pueden tener espesores mayores a los aquí presentados, ya que la investigación en profundidad fue del orden de los 200 – 400 m, pero si un indicativo de la base de las capas geoelectricas de alta resistividad encontradas en los primeros 300 m e indica la profundidad de niveles potencialmente acuíferos esperados en una perforación. En algunos casos debido a los grandes espesores de las capas acuíferas, se elaboraron isolíneas del techo de las formaciones de alta resistividad, potencialmente acuíferas, como en el caso del Acuífero Morroa.

Para algunos acuíferos las isolíneas de profundidad abarcan formaciones Cuaternarias, Terciarias y hasta Cretácicas, ya que no fue posible hacer una separación geoelectrica

de las diferentes unidades geológicas que conforman el subsuelo de los diferentes sectores estudiados.

## **5.2. METODOLOGÍA**

Para la elaboración del mapa y la memoria técnica, se recopiló la información geoelectrica existente en el Instituto a través de los diferentes estudios geoelectricos realizados en el área y algunos estudios hechos por otras entidades. Esta actividad fue adelantada en gran parte por el Area de Reconocimiento Geocientífico del INGEOMINAS, mediante la elaboración de tablas de Excel donde se relacionan el nombre del proyecto, la ubicación del sondeo en planchas 1:25.000, el consecutivo correspondiente, las coordenadas planas con origen Bogotá y los resultados de la interpretación (espesores, profundidades y resistividades de las diferentes capas).

También se revisaron todos los informes disponibles de los estudios realizados en el área, con su respectivo material gráfico (mapas, perfiles geoelectricos, entre otros) algunos de los cuales fueron digitalizados.

De la información disponible se procedió a seleccionarla según los propósitos del trabajo. Para esto se seleccionaron los sondeos que por su localización, distribución en el área, aberturas medias (AB/2) y profundidad del techo de la última capa, fueran considerados necesarios.

Se digitalizaron los mapas de isopropfundidades existentes de algunos informes, se hicieron los que faltaban y se montaron sobre la base hidrogeológica de la plancha 5-04; también se realizaron algunos mapas de isoresistividad a diferentes profundidades (30, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 metros) por acuíferos, para los cuales se tomaron los siguientes rangos de resistividad: bajas entre 1 y 15 Ohm-m, medios hasta 100 Ohm-m y altos mayores de 100 Ohm-m, que muestran la distribución areal de la resistividad.

## **5.3. CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA, LITOLÓGICA E HIDROGEOLOGICA**

En la plancha 5-04 del Atlas de Aguas Subterráneas, se tienen compilados 1468 Sondeos Eléctricos Verticales SEVs, de los cuales 1435 fueron levantados por INGEOMINAS y 33 por HIDROGEOLOGOS ASOCIADOS LTDA. Se seleccionaron 826 SEVs, ubicados en 10 acuíferos. La distribución de los SEVs seleccionados se presenta en la figura 3.

Los acuíferos de la plancha 5-04 están asociados generalmente a intercalaciones de arenas, arcillas y gravas en el caso de depósitos Cuaternarios o areniscas, arcillolitas y conglomerados para las formaciones Terciarias, con espesores variables, las cuales en algunos casos se presentan como una sola capa geoelectrica con una resistividad promedio, dificultando las correlaciones geológicas de las diferentes formaciones.

Los valores de resistividad registrados en el área para las rocas Cuaternarias, Terciarias y Cretácicas, con acuíferos potenciales, varían por lo general de 10 a 150 Ohm-m, correlacionables con arenas arcillosas, arenas, areniscas, calizas, conglomerados y gravas saturadas con agua de diferente calidad.

Las profundidades que se presentan para las diferentes capas geoelectricas potencialmente acuíferas varían desde los 50 hasta los 400 m, siendo los valores mayores en los acuíferos Ariguaní, Cuesta y Cesar al oriente de la plancha y en el Acuífero Morroa al occidente; las menores profundidades se presentan en los acuíferos del Valle del Magdalena, Morrosquillo y Arroyo Grande.

Cada acuífero debido a su composición litológica, presenta un modelo geofísico particular, gracias a los contrastes, en la mayoría de los casos, de las resistividades eléctricas de las diferentes formaciones y depósitos no consolidados. Se extractó de todos los estudios de geofísica realizados y de acuerdo a ello se diseñó un modelo geológico - geofísico general, así mismo un modelo para la caracterización del agua subterránea (Tablas N° 5.1 y 5.2).

**Tabla 5.1 Rangos de Resistividad Para Correlaciones Litológicas e Hidrogeológicas**

Unidad Geológica	Resistividad (Ohm-m)	Litología Principal	Característica Hidrogeológica Cualitativa
Depósitos Cuaternarios, Rocas Terciarias y Cretácicas	2 – 5	Arcillas o arcillolitas	Poco Permeable
	5 – 10	Limos, arcillas arenosas o arcillolitas arenosas	Poco Permeable
	10 – 20	Arenas, areniscas o calizas saturadas con agua poco dulce	Permeable
	20-40	Arenas, areniscas o calizas saturadas con agua poco dulce	Permeable
	40-100	Gravas o calizas saturadas con agua dulce	Permeable
	>100	Arenas, areniscas, gravas, conglomerados o calizas	No saturadas o secas

Para la caracterización de las aguas subterráneas se tomó como base el modelo geoelectrico del Acuífero Morrosquillo, siendo uno de los más explícitos.

Son comunes los valores de resistividad para aguas que se consideran dulces entre 12 Ohm-m y 30 Ohm-m, para aguas que se consideran salobres, entre 3 Ohm-m y 10 Ohm-m, valores menores de 3 Ohm-m se consideran agua salada.

Distribución de los Sondeos Eléctricos Verticales  
Seleccionados en la Plancha 5-04

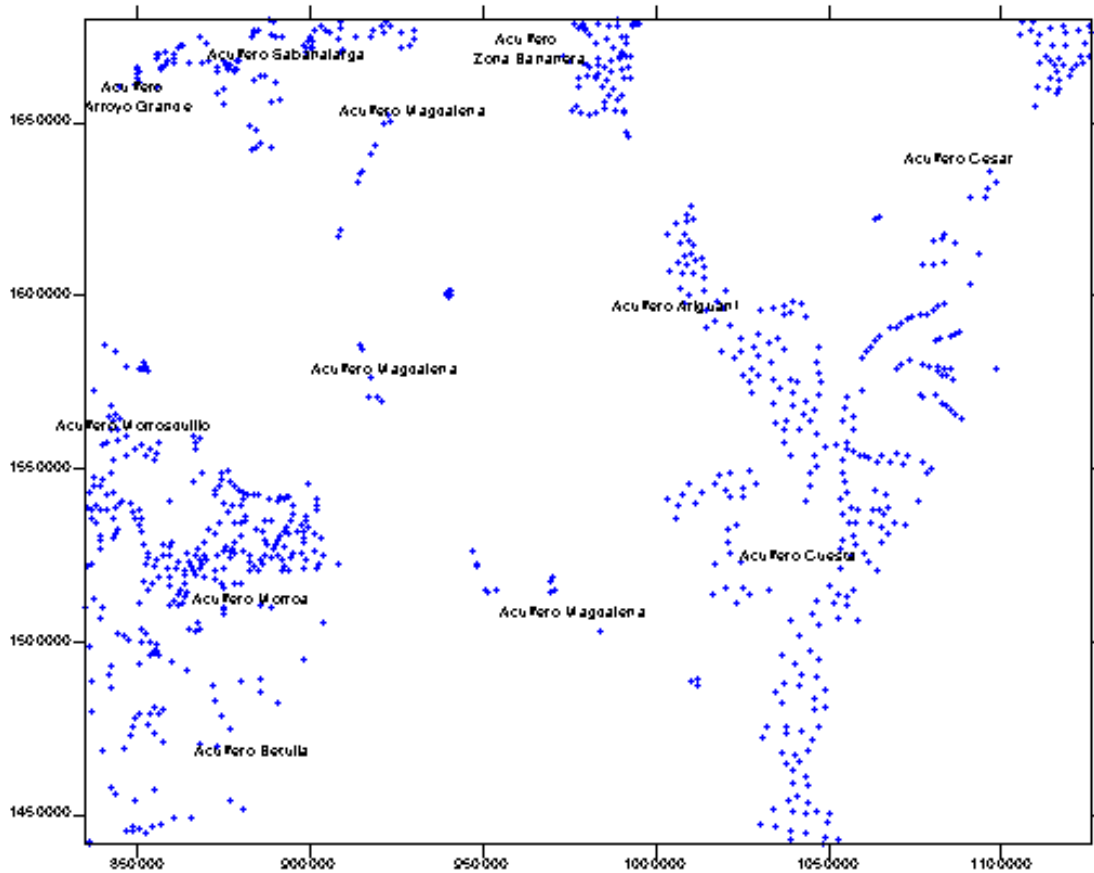


Figura 3

Tabla 5.2 Correlación entre valores de resistividad y litología

Valor de Resistividad (Ohm-m)	Correlación
< 1,5	Sedimentos sin diferenciar con agua salobre o salada
1,5 – 8	Sedimentos arcillosos saturados
8 – 30	Sedimentos arcillosos o areno-arcillosos saturados
10 –17	Sedimentos arenosos o areno – arcillosos saturados
14 –30	Areniscas saturadas

Tomado de BOLETIN GEOLOGICO, Vol. 29, No 1-pp. 1 –172. (Díaz Granados y Huguet 1988).

## **5.4. CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DE LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS**

### **5.4.1. Acuífero Magdalena**

Se tienen reportados 70 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), en el informe denominado "Estudio geoelectrico en once poblaciones del departamento del Magdalena, desde Plato hasta Sitio Nuevo" (INGEOMINAS 1990). Estos SEVs fueron analizados y luego relacionados según su máximo AB/2 y profundidad alcanzada hasta la última capa.

Se seleccionaron SEVs con AB/2 entre 200 y 500 m y profundidades de 100 a 200 m. Se reportan profundidades de pozos entre 30 y 110 m, con niveles estáticos entre 3 y 10 m de profundidad.

Los mapas de isorresistividad, distribuidos en tres zonas, norte, centro y sur a 15, 30, 50 y 100 m de profundidad muestran la siguiente distribución de los valores de resistividad:

A los 15 m de profundidad se encuentran valores de resistividad entre 3 y 130 Ohm-m, los valores superiores a 15 Ohm-m correlacionados con niveles de arenas y gravas saturadas con agua de buena calidad aparecen en las localidades de Remolino, El Peñón, Cerro de San Antonio, occidente de Salamina, El Banco, Guamal, Chivolo y Tenerife. A los 30 m de profundidad se presentan valores entre 2 y 40 Ohm-m, con valores superiores a 15 Ohm-m en las localidades de Remolino, El Banco, Guamal, Chivolo y Tenerife. A los 50 m de profundidad aparecen valores de resistividad entre 2 y 120 Ohm-m, con valores superiores a 15 Ohm-m, correlacionados con areniscas, limolitas y niveles conglomeráticos saturados con agua de buena calidad, en las localidades Remolino, Salamina, El Peñón, Santa Ana y norte de Mompós, a los 100 m de profundidad los valores son bajos (menores de 15 Ohm-m) con un leve aumento de la resistividad en el sector de Chivolo, occidente de Salamina y Pedraza, a profundidades mayores los valores registrados son menores de 15 Ohm-m correlacionados con niveles de arcillolitas.

El Acuífero Magdalena, se caracteriza por presentar a diferentes profundidades capas de interés hidrogeológico. En las regiones de Chivolo y Guamal los valores de resistividad son muy similares, 10 y 18 Ohm-m para capas de arenas saturadas con aguas de buena calidad y profundidades de 130 m. Los sondeos en alrededores de la localidad de Plato, presentan las mismas resistividades pero las capas de interés tienen menor espesor y las capas arcillosas son más frecuentes.

El techo del acuífero se encuentra entre 2 y 7 m de profundidad, las capas superiores tienen resistividades de 3 a 5 Ohm-m para arcillas, 9 a 90 Ohm-m para arenas y 145 Ohm-m para gravas.

Las zonas de interés hidrogeológico, donde según las investigaciones realizadas por INGEOMINAS (1990), se presentan arenas saturadas con agua de buena calidad con resistividades que varían desde 10 a 18 Ohm-m, con profundidades hasta 150 metros. Los espesores del acuífero según los SEVs analizados, van aumentando de sur a norte.

El acuífero Magdalena, presenta 3 zonas de resistividades, un techo de sedimentos no saturados arenosos y gravosos, una zona de interés hidrogeológico de arenas saturadas con intercalaciones de arcillas y un basamento geoeléctrico impermeable correspondiente a la Formación Zambrano.

#### **5.4.2. Acuífero Morrosquillo**

Para este acuífero se tienen reportados 150 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), realizados entre 1988 y 1999, los cuales fueron analizados y luego relacionados según su máximo AB/2 y profundidad alcanzada hasta la última capa.

Los mapas de isorresistividad a 30, 50, 100, 150 y 200 m de profundidad presentan la siguiente distribución de los valores de resistividad para el acuífero Morrosquillo:

A los 30 m de profundidad aparecen valores de resistividad entre 1 y 80 Ohm-m, presentándose los valores superiores a 10 Ohm-m correlacionados con arenas, gravas y limo-arcillas saturadas con agua de buena calidad en la localidad de San Onofre al norte del acuífero y entre Palmito y Tolú; los valores inferiores a 10 Ohm-m se correlacionan con arcillas y arenas saturadas con agua salada. A los 50 y 100 m de profundidad los valores de resistividad varían entre 3 y 50 Ohm-m, encontrándose valores mayores de 10 Ohm-m entre las localidades de Palmito, Tolviejo y Tolú y al sur y norte de San Onofre. A los 150 y 200 m de profundidad los valores de resistividad varían entre 3 y 15 Ohm-m en gran parte de área, correlacionados con un basamento arcilloso, hacia la localidad de Palmito se presentan resistividades entre 10 y 60 Ohm-m correlacionadas con niveles de areniscas y calizas de la Formación Tolviejo.

El mapa de isoprofundidades en este acuífero presenta las siguientes características:

En la parte norte se trazaron isolíneas del basamento de baja resistividad que indican la profundidad hasta donde se espera obtener resultados positivos mediante la perforación de pozos. Al norte de Tolú presenta espesores de 60 a 100 m siendo la zona más promisoría. Al norte del acuífero se hallaron espesores menores de 20 m y no se encontraron cauces delimitados ni definidos seguramente debido al levantamiento de la Formación San Onofre.

En la parte sur del Golfo de Morrosquillo se presentan isolíneas de profundidad del techo de las areniscas de la Formación Tuchín que marca cómo las areniscas se profundizan hacia el sur, la resistividad de las areniscas de la formación Tuchín es superior a 100 Ohm-m. En el área de Tolviejo-Palmito se presentan altas



resistividades correspondientes a las calizas de la Formación Toluviejo, las cuales afloran en cercanías del municipio de Palmito, en el Sinclinal de Palmito – Toluviejo.

El Acuífero Morrosquillo, se caracteriza por presentar sus mayores profundidades y espesores al oriente en cercanías de la localidad de Toluviejo, 137 m de profundidad y 118 m de espesor y sus menores expresiones, al norte en cercanías de la localidad de San Onofre, donde alcanza 90 m de profundidad y 79 m de espesor. Hacia el sur del acuífero alcanza profundidades superiores a los 100 metros.

El techo del acuífero se encuentra entre los 8 y 20 m de profundidad, donde las capas superiores tienen resistividades entre 14 y 40 Ohm-m, correlacionado con arenas secas, luego paquetes de arcillas con resistividades de 5 Ohm-m que sellan la capa inferior que es la de interés hidrogeológico.

Esta capa de interés hidrogeológico y donde según las investigaciones realizadas por INGEOMINAS, presenta arenas saturadas con agua de buena calidad, tienen resistividades que varían desde 12 a 19 Ohm-m, con espesores entre 40 m y 118 m y profundidades hasta 137 m.

En conclusión el Acuífero Morrosquillo presenta 3 zonas de resistividades, un techo de sedimentos no saturados, una zona de interés hidrogeológico y un basamento geoelectrico impermeable de las formaciones Porquera y/o San Cayetano.

#### **5.4.3. Acuífero Arroyo Grande**

De acuerdo con estudios de geoelectrica realizados en el área del acuífero de Arroyo Grande, por la firma Hidrogeólogos Asociados Ltda (1999), se tienen reportados 50 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), los cuales fueron analizados y luego relacionados según su máximo AB/2 y profundidad real alcanzada hasta la ultima capa.

De los mapas de isoresistividad realizados a 30, 50, 100 y 150 m de profundidad se puede observar la siguiente distribución areal de los valores de resistividad:

Los resultados del análisis de los SEVs indican que el AB/2 utilizado fluctúa entre 100 y 600 m. Las profundidades alcanzadas varían entre 30 y 200 m. Según las investigaciones realizadas en campo por la firma Hidrogeólogos Asociados Ltda (1999), se reportan profundidades promedio de 120 m para el Acuífero Arroyo Grande.

A los 30 m de profundidad la resistividad varía entre 2 y 120 Ohm-m, siendo los valores menores de 10 Ohm-m visibles en la parte sur occidente, sur y oriente del acuífero, correlacionados con niveles arcillosos, valores superiores a 10 Ohm-m se presentan hacia el centro y norte del acuífero correlacionados con niveles limo-arcillosos, arenosos y gravosos saturados con agua de buena calidad. A los 50, 100 y 150 m de profundidad los valores de resistividad varían de 5 a 1100 Ohm-m, su

distribución es similar a la descrita para los 30 m; los valores superiores a los 100 Ohm-m son correlacionados con niveles conglomeráticos posiblemente saturados con agua de muy buena calidad.

Los SEVs realizados en el área del Acuífero Arroyo Grande, tienen un comportamiento similar, cuatro o cinco capas con resistividades variables entre 1 y 1000 Ohm-m correlacionadas con intercalaciones de arenas arcillosas, arcillas, arenas, gravas, conglomerados y arcillolitas. Las capas superiores están determinadas por arcillas o depósitos limo-arcillosos secos.

Las unidades de interés hidrogeológico saturadas con aguas de buena calidad, presentan resistividades que varían de 10 a 100 Ohm-m y profundidades mayores de 20 m. Este acuífero descansa sobre depósitos detriticos permeables de la Formación Popa.

#### **5.4.4. Acuífero Cesar**

Se tienen reportados 90 Sondeos Eléctricos Verticales SEVs, los cuales fueron analizados y luego relacionados según su máximo AB/2, profundidad alcanzada hasta la última capa y distribución en el acuífero.

Los mapas de isorresistividad a 30, 50, 100, 150 y 200 m de profundidad, presentan el siguiente comportamiento de los valores de resistividad: (Se tomaron rangos de resistividad bajos entre 1 y 15 Ohm-m, medios hasta 100 Ohm-m y altos mayores de 100 Ohm-m).

Para el Acuífero Cesar se tomaron sondeos con AB/2 de 600 a 900 m y buena distribución en el área del acuífero, con profundidades alcanzadas hasta la última capa que oscilan entre 70 y 350 m, que coincide con resultados de investigaciones realizadas en campo por el INGEOMINAS, que reporta profundidades promedio de 300 m para el Acuífero Cesar.

A los 30 m de profundidad aparecen valores de resistividad entre 5 y 100 Ohm-m correlacionables con arcillas, arenas y gravas, con predominio de valores superiores a 15 Ohm-m; a los 50 m de profundidad se presentan valores entre 3 y 150 Ohm-m, los valores de 3 a 15 Ohm-m predominan en la parte nororiental del acuífero y los valores mayores en el centro y sur del mismo, correlacionables con intercalaciones de arenas, gravas y limos en el sector de Valledupar y con areniscas y arcillolitas en el sector de Agustín Codazzi; a los 100 m de profundidad se muestran valores bajos en el sector de Valledupar, valores intermedios de resistividad al norte del acuífero y valores altos al sur del mismo correlacionables en el primero y segundo casos con sedimentos arcillosos y areno – arcillosos y en el tercer caso con areniscas de grano medio a grueso y posiblemente algunos niveles conglomeráticos. A los 150 y 200 m de profundidad se encuentran resistividades predominantemente altas, tendiendo a aumentar de oriente a occidente, es decir hacia la Sierra Nevada de Santa Marta

posiblemente correspondientes a un basamento ígneo – metamórfico o sedimentarias cretácicas y precretácicas;

La situación estructural, que se observa en los cortes geoelectricos (INGEOMINAS, 1995), muestra básicamente un pliegue sinclinal en el Municipio de Agustín Codazzi y una cuenca sedimentaria de origen tectónico, rellena por sedimentos Cuaternarios entre el río Cesar y la Sierra Nevada de Santa Marta, separados entre sí por una discontinuidad geoelectrica.

Este acuífero contiene aguas generalmente bajo condiciones semiconfinadas pero las frecuentes intercalaciones arcillosas crean localmente condiciones confinantes, con flujos artesianos surgentes observado en pozos al sur de la ciudad de Valledupar, con valores de resistividad para las capas saturadas entre 10 y 45 Ohm-m.

Algunas secciones de interés Hidrogeológico presentan resistividades que van de 63 a 150 Ohm-m para gravas y arenas saturadas (sur de la localidad de Agustín Codazzi) y de 12 a 30 Ohm-m para limo-arenas y arenas saturadas al norte de la misma localidad.

Las zonas más promisorias para la búsqueda de recursos hídricos en el acuífero Cesar se ubican hacia el centro y sur del mismo, regiones aledañas a la localidad de Agustín Codazzi, donde la granulometría es más gruesa que hacia los otros sectores; sobre la llanura aluvial del Río Cesar también se podrían tener buenos prospectos hídricos.

Las líneas de isopropundidades muestran una distribución de la base de las unidades geológicas con potencial acuífero mayores de 300 m al sur de Aguas Blancas, Valledupar y la localidad de Los Corazones hasta los ríos Cesar y Cesarito; profundidades menores de 300 m se encuentran en las localidades de Codazzi, San Diego y el Rio Cesar.

En conclusión, haciendo un análisis esquemático del Acuífero Cesar, desde los alrededores del Municipio de Agustín Codazzi al sur del acuífero, hasta cercanías a la localidad de Villa Nueva (Guajira), se observa que el acuífero presenta un cambio granulométrico grano decreciente de sur a norte, desde gravas en el sur hasta limos y arenas al norte. Los espesores de las capas potencialmente acuíferas varían desde 160 m en su parte más sur, al SW del Municipio de Agustín Codazzi, hasta alcanzar más de 300 m al NW de la misma localidad, encontrando 200 m en las cercanías de Villa Nueva (Guajira). Esquemáticamente el techo del acuífero es más profundo al sur donde presenta niveles estáticos a los 26 m y 14 m al norte.

#### **5.4.5. Acuífero Zona Bananera de Santa Marta**

Se tienen reportados 50 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), los cuales fueron analizados y luego relacionados según su máximo AB/2 y profundidad alcanzada hasta la última capa.

Se seleccionaron SEVs con AB/2 entre 300 y 900 m, que reportan profundidades alcanzadas hasta la última capa entre 100 y 350 m.

Los mapas de isorresistividad a 30, 50, 100, 150, 200 y 250 m de profundidad muestran la siguiente distribución de los valores de resistividad:

A los 30 y 50 m de profundidad los valores de resistividad varían entre 5 y 110 Ohm-m, a estas profundidades los valores superiores a 15 Ohm-m se presentan en gran parte del acuífero, correlacionados con niveles de arenas y gravas, los valores inferiores a 15 Ohm-m se encuentran hacia el suroccidente del acuífero correlacionados con niveles arcillosos. A los 100 y 150 m de profundidad los valores varían entre 1 y 5000 Ohm-m, los valores inferiores a 15 Ohm-m se presentan principalmente al sur y occidente del acuífero, los valores superiores a 500 Ohm-m ocurren en el extremo nororiental y al oriente del acuífero, correlacionados con gravas gruesas secas y rocas ígneo-metamórficas fracturadas, en los demás sectores los valores varían de 15 a 70 Ohm-m correlacionados con niveles arenosos y gravosos saturados con agua de buena calidad. A los 200 m de profundidad se presentan valores entre 5 y 200 Ohm-m correlacionados con niveles arcillosos, arenosos y gravosos. A los 250 m de profundidad los valores de resistividad varían de 5 a 5000 Ohm-m, los valores inferiores a 15 Ohm-m se presentan al occidente del acuífero, los valores entre 15 y 200 Ohm-m se presentan hacia el centro y los superiores a 200 Ohm-m se presentan hacia el oriente del acuífero.

Los espesores del acuífero varían entre 200 y 300 m, compuesto por cantos y gravas saturadas hacia el sur en las regiones aledañas a Fundación y arenas finas saturadas hacia el norte, en cercanías a Tucuringa, encontrando el basamento arcilloso de la Formación Zambrano a más de 200 m de profundidad en los SEVs estudiados.

La sección de interés hidrogeológico presenta resistividades que varían así: 14 Ohm-m para arenas finas saturadas, 66 Ohm-m para gravas saturadas, 179 Ohm-m para depósitos de gravas gruesas saturadas.

#### **5.4.6. Acuífero Ariguani**

Los mapas de isorresistividad (realizados en conjunto con el acuífero Cuesta) a 30, 50, 100, 150, 200 y 250 m de profundidad, muestran la siguiente distribución de los valores de resistividad:

A los 30 m de profundidad los valores de resistividad oscilan entre 3 y 35 Ohm-m, correlacionables con material arcilloso, limo-arenoso y arenoso; a los 50 m de profundidad se encuentran valores entre 5 y 30 Ohm-m; a los 100 y 150 m de profundidad los valores de resistividad varían entre 5 y 50 Ohm-m. Valores bajos se observan al sur y suroccidente de Bosconia; a los 200 y 250 m de profundidad el rango de resistividad se conserva pero su distribución varía, siendo los valores más bajos en el centro y occidente del acuífero. A los 300 m de profundidad se presentan valores bajos de resistividad en gran parte del acuífero, posiblemente correspondiente a rocas terciarias impermeables.

El Acuífero Ariguaní, se caracteriza por presentar sus mayores profundidades y espesores al norte en cercanías a las localidades de Bosconia, El Copey y Caracolicito, donde los niveles areno arcillosos saturados con agua de buena calidad se encuentran en profundidades hasta de 150 m; al sur en las localidades al SW de Bosconia, los espesores son menores.

El techo del acuífero se encuentra muy superficial máximo a 2.5 m, las capas superiores tienen resistividades que varían entre 18 y 81 Ohm-m correlacionado con arenas secas y gravas no saturadas, luego granulométricamente encontramos paquetes de arena gruesa, gravas finas y arenas limo arcillosas saturadas, hasta profundidades de más de 85 m al sur (SW de Bosconia) y 150 m al norte de El Copey. También se encuentran profundidades considerables hacia el oriente de la localidad de Arjona.

Las zonas de interés hidrogeológico y donde según las investigaciones realizadas por INGEOMINAS (1995), presentan arenas y gravas saturadas con agua de buena calidad, tienen resistividades que varían desde 10 a 32 Ohm-m, con espesores entre 84 m al sur y más de 150 m al norte.

El Acuífero Ariguaní presenta un techo de sedimentos arenosos no saturados, una zona de interés hidrogeológico de arenas saturadas con agua de buena calidad y niveles de arenas y limos arenosos hacia la base.

#### **5.4.7. Acuífero Betulia Arenoso**

Se tienen reportados 50 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), los cuales fueron analizados relacionados según su máximo AB/2 y profundidad alcanzada hasta la última capa.

Se seleccionaron SEVs con profundidades reales alcanzadas para el techo de la última capa entre 200 y 400 m respectivamente, sin llegar al espesor total reportado por las investigaciones de INGEOMINAS para el Acuífero Betulia Arenoso, de aproximadamente 1000 m.

De los mapas de isorresistividad a 15, 30, 50, 100 y 150 m, se puede observar la siguiente distribución areal de los valores de resistividad:

A los 15 m de profundidad se encuentran valores de resistividad entre 10 y 230 Ohm-m con valores altos al noroccidente de San Benito de Abad; en otros sectores los valores de resistividad son medios. A los 30 m de profundidad se presentan valores entre 5 y 65 Ohm-m con predominio de los valores entre 15 y 60 Ohm-m en gran parte del acuífero, correlacionables con areniscas arcillosas y areniscas, posiblemente saturadas con aguas de buena calidad. A los 50 m de profundidad los valores de resistividad varían entre 5 y 40 Ohm-m, los valores más bajos se presentan al oriente y centro del acuífero, correlacionables con intercalaciones arcillolíticas de esta formación. A los 100 m de profundidad se encuentran valores entre 5 y 60 Ohm-m, estando los valores

superiores a 15 Ohm-m entre las localidades de San Benito de Abad y La Unión; a los 150 m de profundidad los valores de resistividad están entre 3 y 15 Ohm-m correlacionables con arcillolitas de la Formación Betulia Arcilloso.

El Acuífero Betulia Arenoso, se caracteriza por presentar sus mayores profundidades y espesores al norte de la localidad de San Benito Abad, al igual que en la localidad de San Marcos, con sedimentos arenosos saturados, de espesor 150 a 200 m, los SEVs ubicados al sur tienen espesores menores.

El techo del acuífero se encuentra entre 4 y 6 m, las capas superiores tienen resistividades entre 6 y 330 Ohm-m correlacionado con depósitos limo - arcillosos y gravas no saturadas, luego se encuentran paquetes de arenas limo arcillosas y algunas intercalaciones de arcillas al norte.

La zona de interés hidrogeológico y donde según las investigaciones realizadas por INGEOMINAS, presenta arenas con agua de buena calidad, tienen resistividades que varían desde 7 a 24 Ohm-m, con espesores entre 150 a 180 m. Los espesores del acuífero según los SEVs analizados varía entre 64 y 188 m.

#### **5.4.8. Acuífero Morroa**

Se tienen reportados más de 500 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), los cuales fueron analizados y luego relacionados según su máximo AB/2 y profundidad alcanzada hasta la última capa.

Después de hacer los análisis se seleccionaron SEVs con 700 m de AB/2 y profundidades de 250 y 462 m. De acuerdo a las investigaciones realizadas por el INGEOMINAS, se reportan profundidades promedio entre 400 y 600 m para el acuífero de Morroa.

De los mapas de isoresistividad a 30, 50, 100, 150 y 200 m de profundidad se puede observar la siguiente distribución areal de los valores de resistividad:

A 30 m de profundidad se presentan valores de resistividad entre 1 y 60 Ohm-m con valores medios al sur de La Ye, al suroccidente de San Andrés de Sotavento, al noroccidente de Morroa y el sector noroccidental del acuífero. A los 50 m de profundidad se encuentran valores entre 2 y 50 Ohm-m con valores medios al sur de La Ye, al norte de San Andrés de Sotavento, al nororiente de San Pedro y entre las localidades de Morroa y Ovejas. A 100 m de profundidad se presentan valores de resistividad entre 2 y 80 Ohm-m, los valores superiores a 10 Ohm-m se encuentran al suroccidente de La Ye, oriente de Sahagún, al norte de San Andrés de Sotavento, Morroa, San Pedro, sur y oriente de Ovejas. A los 150 m de profundidad aparecen valores entre 3 y 50 Ohm-m, los valores superiores a 12 Ohm-m ocurren al suroccidente de La Ye, oriente de Sahagún, Morroa, Ovejas y San Pedro. A los 200 m

de profundidad encontramos valores entre 5 y 40 Ohm-m con valores superiores a 10 Ohm-m al sur y norte de Morroa y en la localidad de San Pedro.

En las localidades cercanas a Sampués y Sincelejo, las resistividades varían entre 5 Ohm-m para limos y arcillas y 17 Ohm-m para arenas saturadas. El acuífero muestra niveles desde arcillosos hasta limo-arenosos; el techo del acuífero presenta niveles de granulometría fina con resistividades de 5 Ohm-m correlacionado con limo-arcillas y 11 Ohm-m correlacionado con limo-arcillas arenosas. Al norte en las localidades cercanas a Ovejas, las resistividades varían desde 5 Ohm-m (limos-arcillas) y 105 Ohm-m (arenas y gravas saturadas).

Los niveles de interés hidrogeológico tienen resistividades, por lo general, entre 13 y 17 Ohm-m, correlacionado con arenas saturadas. El Acuífero Morroa tiene comportamiento más arcilloso hacia el sur que hacia el norte.

El mapa de isopropundidades al sur, en las áreas Sahagún - La Ye, el contacto entre el Acuífero Morroa y la Formación Sincelejo Inferior, se demarcó como profundidad cero y hacia el oriente se marcaron las profundidades 100 y 200 m al norte y 100 m al sur de la zona (las isolíneas muestran la base del Morroa – Techo Sincelejo Inferior). La razón para que no se marcara la profundidad 200 m se debió a que en esta zona el Sincelejo Inferior se profundiza rápidamente, debido al aumento del buzamiento en la zona.

En el área de Chinú-Sampués aflora la Formación Morroa, el mapa muestra tres franjas donde afloran las areniscas de dicha formación y la línea de contorno de 100 m de profundidad del techo de las unidades marcadas como A y B. En el área de Corozal se registraron ocho niveles de areniscas separados por igual número de capas arcillosas que se continúan hacia el norte desapareciendo varias intercalaciones, convirtiéndose en cuatro potentes capas de areniscas en el área de Ovejas y tres capas al suroeste área de Sampués. Las isolíneas de profundidad en esta área muestran el techo de la Formación Morroa (areniscas); en el área de Betulia, Since, San Pedro se encuentran sedimentos no consolidados de origen lacustre, al sur, a fluvio – lacustre en el norte, que componen la Formación Betulia con más de 1500 m de espesor y consta de arcillas con pequeñas intercalaciones de arenas al sur, a arcillas y arenas al norte. Las líneas de isopropundidad muestran la base de los niveles acuíferos detectados.

El techo del acuífero presenta granulometría gruesa, arenas - gravas, los niveles de interés hidrogeológico presentan paquetes arcillosos, pero de menor espesor que los que se encuentran al sur, las profundidades alcanzadas están alrededor de 125 m, aunque la última capa sigue siendo arenas y gravas saturadas.

El Acuífero Morroa tiene su sello impermeable en las rocas del Miembro Inferior Arcilloso de la Formación Sincelejo.

#### **5.4.9. Acuífero Sabanalarga**

Los mapas de isoresistividad a 30, 50, 100, 150 y 200 metros de profundidad presentan la siguiente distribución de los valores de resistividad:

A los 30 metros de profundidad los valores de resistividad varían entre 2 y 65 Ohm-m, presentándose valores superiores a 10 Ohm-m al oriente del acuífero, al sur de Repelón y al norte de Sabanalarga, correlacionados con niveles de areniscas y conglomerados; los valores inferiores a 10 Ohm-m se correlacionan con niveles arcillosos. A los 50 m de profundidad se encuentran valores entre 2 y 35 Ohm-m con valores superiores a 10 Ohm-m al occidente de Luruaco y sur de Repelón. A los 100 m de profundidad se presentan valores de resistividad entre 2 y 50 Ohm-m, los valores superiores a 10 Ohm-m se presentan al sur y norte de Sabanalarga, al sur de Repelón y al occidente de Luruaco. A los 150 m aparecen valores entre 2 y 30 Ohm-m con valores superiores a 10 Ohm-m al sur y occidente de Sabanalarga y al occidente de Luruaco. A los 200 m de profundidad se encuentran valores entre 5 y 130 Ohm-m, con valores superiores a 10 Ohm-m entre Luruaco y Sabanalarga.

#### **5.4.10. Acuífero Cuesta**

Se tienen reportados 250 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), los cuales fueron analizados y luego relacionados según su máximo AB/2 y profundidad alcanzada hasta la última capa.

De los mapas de isoresistividad a 30, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 m de profundidad, se puede observar la siguiente distribución areal de los valores de resistividad:

Hasta una profundidad de 150 m los valores de resistividad varían de 3 a 2500 Ohm-m, presentándose los valores mayores hacia el oriente del acuífero, correlacionados con niveles conglomeráticos y rocas calcáreas y valores medios y bajos hacia el norte y occidente correlacionados con niveles de areniscas, conglomerados y arcillolitas. Hasta profundidades de 300 m se encuentran valores entre 3 y 1000 Ohm-m, con predominio de los valores altos hacia el sur y oriente del acuífero.

El Acuífero Cuesta se caracteriza por presentar sus mayores profundidades y espesores al sur en las localidades de La Gloria y Curumaní, con sedimentos arenosos saturados de gran espesor. En la región de La Jagua de Ibirico, el acuífero presenta granulometría gruesa hasta los 130 m, profundidad, a la cual posiblemente se encuentran rocas calcáreas de la Formación La Luna. En la zona de El Paso se aparecen 170 m de Depósitos Cuaternarios saturados y una base de rocas Terciarias sin definir. En las áreas al nororiental del acuífero el nivel de interés hidrogeológico es muy pequeño, ya que las formaciones Cretácicas son muy superficiales.

El mapa de isoprofundidad de la base potencialmente acuífera presenta valores altos hacia las poblaciones de El Paso, La Gloria, La Loma, Pelaya y Río Magdalena;



valores menores al noroccidente de Casacará, Jagua de Ibiricó, Chiriguaná y Curumaní. Valores inferiores a 50 m se presentan hacia la Serranía de Perijá, Pelaya y Pailitas principalmente.

El techo del acuífero se encuentra muy superficial, máximo 2 m, las capas superiores tienen resistividades entre 32 y 139 Ohm-m correlacionados con areniscas y conglomerados no saturados, luego aparecen paquetes de areniscas hasta conglomerados saturados, con profundidades de más de 200 m al sur, 130 m al centro y 40 m al norte.

Esta zona de interés hidrogeológico y donde según las investigaciones realizadas por INGEOMINAS, presenta areniscas y conglomerados saturados con agua de buena calidad, tienen resistividades que varían desde 10 a 118 Ohm-m, con espesores entre 40 y 263 m y profundidades hasta 264 m. Los espesores del acuífero según los SEVs analizados varían entre 40 y 265 m.

El Acuífero Cuesta presenta un techo de sedimentos no saturados, una zona de interés hidrogeológico y un basamento geoelectrico impermeable conformado por formaciones Cretácicas y probablemente Jurásicas.

## **6. HIDROGEOQUÍMICA**

### **6.1. GENERALIDADES**

Las características químicas del agua almacenada en los acuíferos someros y profundos que ocurren en el área de la plancha 5-04, correspondientes a la hidrogeoquímica, se representan en un mapa conformado por varios niveles de información que identifican, los tipos geoquímicos y la salinidad o grado de mineralización de las aguas subterráneas.

La composición química del agua subterránea es controlada principalmente por la composición mineralógica y el grado de solubilidad de los sedimentos o rocas que conforman el acuífero, de su tiempo de residencia, del área de contacto agua-roca y de la mezcla con agua de otros acuíferos, o de la presencia de cargas de contaminantes que pueden alterar su calidad natural.

Los acuíferos someros se caracterizan químicamente, a partir de análisis fisico-químicos de muestras de aljibes. El tipo geoquímico de agua se representa gráficamente en un mapa de tonos por amplios polígonos de colores estandar (Unesco, 1994), que identifican cada tipo de agua según el catión y anión dominante.

Los acuíferos profundos se caracterizaron con muestras de pozos existentes. El tipo geoquímico de agua igualmente se caracteriza a partir de los iones dominantes representados por medio de diagramas pie los cuales van en la memoria explicativa.

Este mapa tiene por objeto asociar las regiones acuíferas con los diferentes grados de mineralización o salinidad. En general, el agua con un contenido de SDT inferior a 1000 mg/l, suele ser clasificada como agua dulce. Cuando este valor es mayor de 1000 mg/l, la mineralización se puede deber a una alta concentración de cloruro sódico o a la presencia de otros minerales.

Para la clasificación geoquímica, se considerarán fundamentalmente los iones mayores (Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>).

La salinidad o grado de mineralización del agua subterránea de los acuíferos someros se presenta a través de isolíneas de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en mg/l., en tonos de color amarillo quemado con intervalos entre 0 , 200, 500, 2000, y 5000 ppm.

### **6.2. NIVEL DE INFORMACIÓN**

La base analítica en la que se sustentan los diferentes polígonos de información hidroquímica de la Plancha 5-04, proviene casi en su totalidad de estudios registrados en el Base de Datos Hidrogeológicos de INGEOMINAS. Una vez revisada y depurada la información, se procesaron las muestras que cumplían los estándares de calidad.

Respecto a la confiabilidad de la información, se interpretaron solamente los resultados analíticos con un balance de error menor del 12%.

Del total del área de esta plancha, aproximadamente el 45% está cubierta por estudios hidrogeoquímicos de carácter regional o local. El 36% no presenta un potencial acuífero aprovechable por hallarse conformado por materiales litológicos prácticamente impermeables. El porcentaje restante carece de información.

La calidad química del agua almacenada en los diferentes acuíferos de la plancha 5-04, permite definirla como recomendable para cualquier uso, incluyendo el consumo humano, sin embargo, localmente en algunos acuíferos, no es recomendable para algunos usos debido a condiciones naturales y actividades antrópicas .

### **6.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACUÍFEROS CUATERNARIOS SOMEROS**

El tipo de agua subterránea almacenada en los acuíferos someros del Cuaternario, aflorantes en la parte plana del área de la plancha 5-04, es de tipo predominantemente, bicarbonatada cálcica y sódica, este tipo puede ser alterado por aguas provenientes de la escorrentía superficial que lixivian las unidades roca más antiguas que los rodean, las cuales tienen una composición mineralógica diferente a las de los depósitos Cuaternarios., casi siempre de tipo cloruradas y sulfatadas sódicas.

En general son aguas con bajo grado de mineralización, debido a que estos acuíferos se recargan directamente por agua de precipitación con un tiempo de residencia corto.

En la región correspondiente al valle del Río Cesar, hacia el borde oriental de la plancha, en el Departamento del Cesar, la caracterización química del Acuífero Cuaternario Somero, se determinó con base en los resultados analíticos de 365 muestras de aljibes, de los cuales el 51% equivalen al tipo bicarbonatado sódico, el 40% al tipo bicarbonatado cálcico, el 5% a aguas cloruradas sódicas o cálcicas y el 4% sulfatadas sódicas. Son aguas medianamente mineralizadas con una concentración de sólidos disueltos totales promedio de 650 mg/l, variando entre 200 y 2000 mg/l. El contenido de cloruros en el agua es bajo, menor de 76 mg/l, incrementándose ligeramente en la dirección del flujo subterráneo regional, hacia la parte baja del valle.

En el sector noroccidental correspondiente a la parte alta y media del valle del Río Cesar, aledaña a la Sierra Nevada de Santa Marta, predomina el agua bicarbonatada sódica, la cual podría estar reflejando el lavado por corrientes superficiales de las rocas ígneo-metamórfica de la Sierra Nevada. Este mismo tipo de agua, también aparece en sectores aislados del valle, aledaños al macizo de Santander, debido posiblemente, al mismo proceso de lavado de rocas ígneo-metamórficas.

Hacia el borde oriental del valle del Río Cesar y en el extremo suroccidental de la Sierra Nevada, predomina el agua bicarbonatada cálcica y magnésica, resultado del

lavado de las rocas calcáreas (calizas) que afloran en la Serranía de Perijá y en la esquina suroccidental de la citada sierra. En el sector comprendido por las poblaciones de Bosconia, El Paso, La Loma y Becerril, el agua es dulce aumentando la concentración de SDT hasta 1000 mg/l.

En el área correspondiente a la Depresión Momposina, incluyendo a la Isla de Mompós, de las 62 muestras analizadas, el 67% indica que el agua almacenada en el Acuífero Cuaternario Somero es de tipo clorurada cálcica, moderadamente dura a muy dura, con un contenido en sólidos disueltos totales entre 500 y 1000 mg/l. En algunos sectores, en zonas pobladas o cerca de ellas, se observa una alta concentración en cloruros, debido posiblemente a la contaminación urbana.

En el Acuífero Cuaternario Somero de la región correspondiente al Valle del Río Magdalena (Acuífero Magdalena) que se extiende desde el sur de la población de Plato hasta la población de Remolino, se analizaron un total de 175 muestras.

En los alrededores del municipio de Salamina el 48% de las muestras son de tipo bicarbonatada cálcica, indicando una posible recarga directa a partir del río Magdalena (con agua de tipo bicarbonatada cálcica). El contenido de sólidos disueltos totales es de 500 a 2000 mg/l. El 33% de las muestras analizadas son de tipo sulfatada sódica y clorurada cálcica y sódica, la mayor parte de ellas ubicadas en la margen oriental de este río, resultado del aporte de estos iones por disolución de yeso y materiales calcáreos provenientes de la escorrentía superficial que lixivia la Formación Zambrano

Al norte del municipio de Salamina, el Acuífero Somero del Valle del río Magdalena (Acuífero Magdalena), contiene agua clorurada cálcica, bicarbonatada cálcica y sódica con un contenido de SDT entre 1000 y 2000 mg/l, con valores en algunos sectores mayores a 2000 mg/l. La concentración de los iones cloruro y sodio posiblemente se deba al aporte de estos iones a partir de suelos salino-sódicos que se encuentran en esta región.

Una zona de mezcla ocurre en los Acuíferos Someros Cuaternarios presentes en la zona costera noroccidental, donde existen aguas de tipos bicarbonatadas cálcica y sódica, cloruradas y cálcicas y en menor proporción sulfatadas cálcicas y magnésicas, resultado de la lixiviación por escorrentía superficial de las formaciones geológicas adyacentes de ambientes marinos o por efectos de concentración por evaporación de iones en suelos, que posteriormente se infiltran al acuífero.

En general, en los acuíferos someros Cuaternarios aledaños al mar, el alto grado de la mineralización del agua subterránea, se asocia a efectos de intrusión marina o a la influencia de aerosoles marinos.

#### **6.4. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS ACUIFEROS CUATERNARIOS PROFUNDOS**

Estos acuíferos generalmente de tipo multicapa debido a las frecuentes intercalaciones arcillosas, contienen agua bicarbonatada sódica y cálcica, donde el principal proceso es el cambio de bases.

En el Acuífero Morrosquillo existen aguas de tipo bicarbonatada sódica y cálcica asociadas las bicarbonatadas cálcicas a un menor tiempo de residencia del agua en los paleocanales donde la circulación es más rápida, mientras que las sódicas podrían estar relacionadas con los procesos de cambios de base en las intercalaciones arcillosas. En cercanías a la línea de playa el agua subterránea es de tipo clorurada sódica.

En el Acuífero Arroyo Grande, de ambiente aluvial con alguna influencia marina, el agua contenida en los horizontes superiores (hasta 50 m de profundidad) es de tipo sulfatada sódica, dulce y muy dura, con una concentración en carbonato de calcio de 240 mg/l. Las capas acuíferas inferiores (entre 50 y 150 m de profundidad) se caracterizan por contener, hacia la parte norte del acuífero, agua sulfatada sódica, bicarbonatada sódica y clorurada sódica producto debido a la posible mezcla con aguas subterráneas provenientes de acuíferos que le subyacen, depositados en ambiente marino (Unidad Detrítica del Popa). En ambos casos el agua es débilmente mineralizada, con un contenido de SDT que varía entre 500 y 1000 mg/l con un pH promedio de 6.5 (Hidrogeólogos Asociados, 2000).

El Acuífero Cesar, de origen aluvial, tiene una concentración promedio de SDT (14 muestras de pozos con profundidades entre 60 y 150 m) de 240 mg/l, con variaciones entre 200 y 500 mg/l indicando que el agua es dulce. El agua es de tipo bicarbonatada sódica y cálcica, variando el pH desde 7.5 a 8.0 (Tahal, 1972). La calidad química del agua subterránea la hace generalmente recomendable para cualquier uso.

En el Acuífero Zona Bananera de Santa Marta, de origen aluvial, el agua subterránea proveniente tanto de aljibes como de pozos profundos, es de tipo sulfatada sódica y clorurada cálcica. El predominio de estos iones estaría asociado a intrusión del agua salada que almacena esta ciénaga. El agua subterránea se caracteriza por ser no mineralizada a moderadamente mineralizada, con un contenido en SDT desde 200 hasta 2000 mg/l y un pH de 6.2 a 8.6 (Castrillón, 1999).

Los pocos puntos de aguas subterráneas analizadas en el Acuífero Ariguaní de origen fluvial, indican que tanto el agua subterránea de los horizontes superficiales como la profunda, es de tipo bicarbonatada sódica y hacia el piedemonte es clorurada o bicarbonatada cálcica, producto del cambio de base que ocurre en las frecuentes intercalaciones arcillosas. El agua es moderadamente dura (dureza como carbonato de calcio menor de 120 mg/l), alcalina, pH promedio de 8.0, débilmente mineralizada hacia la sierra aumentando la concentración de SDT hacia el valle entre 1000 y 2000 mg/l.

Para el Acuífero La Mojana, producto de la depositación fluvial del sistema Magdalena – Cauca - San Jorge, la escasa cantidad de análisis físico-químicos, en pozos ubicados en la zona delimitada entre las poblaciones de San Marcos, Caimito, San Benito Abad y el Río Cauca, indican que el agua es de tipo bicarbonatada sódica y cálcica, débilmente mineralizada con valores de SDT menor de 500 mg/l. Hacia el sector del municipio de Tamalameque, aledaño al Río Magdalena y en la Isla de Mompós, prevalece el agua bicarbonatada cálcica reflejando una posible recarga directa a partir del citado río.

Por último, el agua almacenada en el Acuífero Betulia Arenoso, depositado en un ambiente fluvio-deltaico, es prácticamente homogénea en los horizontes superiores de todo el acuífero, siendo de tipo bicarbonatada sódica, reflejando una infiltración directa del agua lluvia y poco tiempo de residencia. De los 32 pozos que captan las capas acuíferas más profundas, los resultados analíticos señalan que el 71% contiene agua bicarbonatada sódica y cálcica, debido posiblemente al fenómeno de cambio de base que ocurre en las intercalaciones arcillosas. En general el agua es blanda (dureza total como carbonato de calcio menor de 60 mg/l) con un pH entre 7.0 y 7,5, débilmente mineralizada con una concentración de SDT menor de 500 mg/l y cerca al contacto con el Betulia Arcilloso los SDT presentan valores hasta 1000 mg/l.

## **6.5. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS ACUIFEROS TERCIARIOS**

Son acuíferos de tipo multicapa depositados en ambientes continental, transicional y marino, de allí la diversidad de los tipos geoquímicos de agua, que además se caracterizan por su alta mineralización.

El Acuífero del Popa, depositado en ambiente marino, está constituido en su parte inferior por intercalaciones arenosas y arcillosas (Unidad Detrítica del Popa) y la superior por calizas arrecifales. Cuando este acuífero se encuentra alejado de la línea de costa, contiene agua de tipo bicarbonatada cálcica, con la tendencia a enriquecerse en profundidad en estos iones. Cuando sus afloramientos están cerca a la costa el agua subterránea es clorurada sódica. En general el agua es muy dura (dureza total como carbonato de calcio entre 460 y 1700 mg/l) con pH desde 6.1 hasta 7.8 y fuertemente mineralizada, con una concentración en SDT que varía entre 1000 y 7800 mg/l.

Las aguas del Acuífero Morroa se analizaron a partir de la interpretación de 47 resultados de análisis físico-químicos, de los cuales el 55% corresponde al tipo bicarbonatada sódica, el 29% a aguas bicarbonatadas cálcicas y el 14% a sulfatadas sódicas. Por lo general son aguas de buena calidad para su consumo, débilmente mineralizadas a mineralizadas, donde el contenido de SDT varía entre 180 y 1200 mg/l y la cantidad de cloruros es baja, inferiores a 20 mg/l. (Rodríguez, 1993). El agua bicarbonatada sódica predomina en el extremo norte del acuífero y desde la parte media hacia el sur, donde con mayor frecuencia ocurren las intercalaciones arcillosas, indicando que este tipo geoquímico, se debe a fenómenos de cambio de bases y al largo tiempo de residencia en el acuífero. Las aguas bicarbonatadas cálcicas podrían estar

reflejando una recarga directa a partir del agua lluvia en las zonas con predominio arenoso.

En el Acuífero Sabanalarga de ambiente fluvial, el agua es de tipo bicarbonatada cálcica y sódica. La mayor proporción del ion bicarbonato estaría indicando su transporte mediante la escorrentía superficial proveniente de zonas aledañas más altas, conformadas por unidades calcáreas. Son aguas no mineralizadas a débilmente mineralizadas, variando la concentración en SDT desde 200 hasta 500 mg/l. Algunas muestras con aguas cloruradas cálcicas, provenientes de aljibes, reflejan una contaminación antrópica.

En el Acuífero Chivolo, de origen transicional, los escasos puntos de agua analizados, señalan que el agua almacenada es de tipo bicarbonatada sódica, muy dura (dureza total como carbonato de calcio mayor de 300 mg/l), con un pH de 7.5. El agua se considera mineralizada ya que su concentración en sólidos disueltos totales varía entre 1070 y 1150 mg/l.

El agua del Acuífero Tubará de ambiente marino, es mixta, reflejando la heterogeneidad de sus componentes litológicos. Se encuentran aguas bicarbonatadas magnésicas en los horizontes superiores de las unidades de areniscas calcáreas fosilíferas, las cuales en profundidad se tornan de tipo cloruradas sódicas, debido a que el proceso de dilución por el agua lluvia disminuye con la profundidad como consecuencia de una lenta infiltración. También se encuentran aguas sulfatadas sódicas, asociadas a unidades arenosas con yeso diseminado y limolitas ferruginosas y en menor proporción aguas bicarbonatadas sódicas. En general son aguas débilmente mineralizadas, variando la concentración en SDT entre 1000 y 2000 mg/l.

Por último en el agua almacenada en el Acuífero Cuesta no se observa uniformidad de iones dominantes, solamente una tendencia a tener en común los iones bicarbonato y calcio sin estar en proporción dominante. (Vargas, et. al., 1995)

En los Acuíferos Cerrito y Toluviejo la única referencia que se tiene es que almacenan agua de tipo bicarbonatada cálcica con dureza moderada.

## **6.6. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS ACUIFEROS CRETACICOS**

La determinación de las características químicas de los acuíferos Cretácicos, denominados La Luna y Cogollo es deficiente debido a que no existen suficientes datos químicos. En estos acuíferos, conformados por calizas agrietadas y carstificadas el agua es de tipo bicarbonatada cálcico-magnésica.

La porosidad secundaria por fracturamiento que prevalece en los dos anteriores acuíferos, hace que su tipo geoquímico de agua, bicarbonatada cálcica, se relacione con aguas de corto tiempo de residencia, ya que las captaciones analizadas se encuentran cerca a sus zonas de recarga.

## **7. VULNERABILIDAD INTRINSECA DE LOS ACUIFEROS A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS**

### **7.1. MARCO TEORICO**

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, se define por la **“Facilidad con la que ingresan las sustancias nocivas al acuífero, mediante infiltración a través del suelo y la zona no saturada, que a su vez depende del grado de inaccesibilidad y de atenuación existente en dicha zona”** (Foster, 1987)

El Método de Indexación “GOD”, propuesto por Foster, 1987, se constituye como herramienta para evaluar regionalmente la vulnerabilidad de los acuíferos frente a un contaminante general, este analiza un grupo de variables de fácil adquisición y se ajusta a zonas con poca información, con irregular distribución o con incertidumbre de los mismos, basándose en tres de los principales parámetros que rigen el flujo del agua en la zona no saturada, los cuales controlan el transporte de solutos.

#### **7.1.1. El método de indexación “GOD”**

La metodología valora tres parámetros o atributos físicos: condición del acuífero más somero, predominio litológico de la zona no saturada o de la capa confinante y la profundidad del nivel freático o del techo del primer acuífero cuando está confinado; a cada uno se le asigna un valor numérico o índice, según su aporte individual a la facilidad o dificultad de permitir la llegada de un contaminante a la zona saturada. Cada característica se sintetiza en coberturas cuya superposición final genera el Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca.

Las características intrínsecas que determinan la sensibilidad o vulnerabilidad del acuífero a ser afectado adversamente por una carga contaminante y evaluadas por el método “GOD”, son las siguientes:

- Groundwater “G”: Se refiere a la condición del acuífero más somero, y establece las siguientes categorías: no confinado, no confinado - cubierto, semiconfinado, confinado, surgente y sin presencia de acuífero.
- Overall “O”: Este parámetro incluye una caracterización global de la zona no saturada para acuíferos libres, o del estrato confinante para acuíferos confinados. Se valoran la naturaleza litológica, el grado de consolidación y el fracturamiento de la roca.
- Depth “D”: Profundidad del nivel freático en acuíferos libres o profundidad del techo del acuífero, en los confinados. Para el caso de los acuíferos libres la profundidad del nivel estático, está sujeta a la oscilación natural.



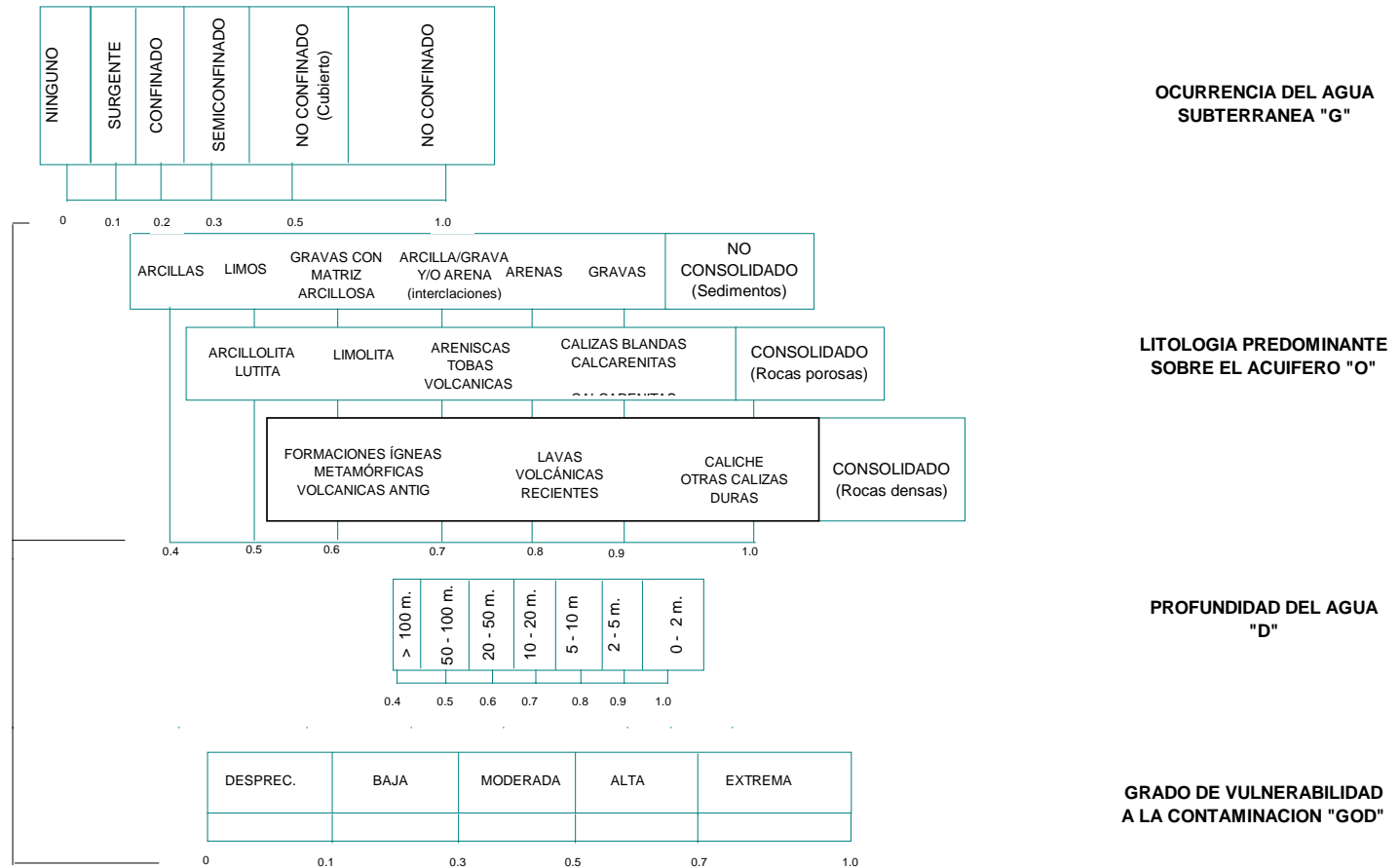
Los parámetros G y O, pueden considerarse estables a lo largo del tiempo, mientras que el parámetro “D” es variable.

El método “GOD”, (Cuadro 1), establece escalas de valores para cada parámetro de acuerdo con su contribución en la defensa de los acuíferos a la contaminación. Las escalas de valores están entre 0 y 1.0, siendo los valores menores los que más retienen o atenúan el transporte de contaminantes. La evaluación de la vulnerabilidad intrínseca se determina multiplicando los valores asignados a cada parámetro, obteniéndose valores entre 0 y 1.0, donde el valor cero, significa una vulnerabilidad nula y el valor 1.0 (uno), vulnerabilidad extrema.

De acuerdo con la valoración de los tres parámetros la clasificación de vulnerabilidad se define de la siguiente manera:

- Vulnerabilidad Extrema: Valores de indexación entre 0.7 y 1.0. Son acuíferos vulnerables a la mayoría de los contaminantes y con un impacto relativamente rápido para la mayoría de los escenarios de contaminación.
- Vulnerabilidad Alta: Valores de indexación entre 0.5 y 0.7. Son acuíferos vulnerables a muchos contaminantes, excepto aquellos que son rápida y fácilmente biodegradables.

**Cuadro 1. Sistema de Indexación GOD, para la Evaluación de La Vulnerabilidad de los Acuíferos a la Contaminación**



TOMADO DE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL DE SANTIAGO DE CHILE, 1996



- Vulnerabilidad Moderada: Valores de indexación entre 0.3 y 0.5. Son acuíferos vulnerables a contaminantes relativamente móviles y/o persistentes o bien, a eventos de contaminación continua, causados durante largos periodos de tiempo.
- Vulnerabilidad Baja: Valores entre 0.1 y 0.3. Son acuíferos vulnerables a contaminantes muy móviles y/o persistentes y a eventos de contaminación continuos durante largos periodos de tiempo. El impacto causado en el acuífero se caracteriza por ser de efecto a largo plazo y sus manifestaciones sobre la calidad del agua son tan débiles que suelen pasar inadvertidos durante mucho tiempo.
- Vulnerabilidad Muy Baja: Valores de indexación menores a 0.1. En estos acuíferos, las capas confinantes representan un obstáculo que dificulta en alto grado (sin que esto indique que sea imposible) un flujo significativo al acuífero. Sin embargo se debe tener en cuenta, que los acuíferos que serían considerados como de menor vulnerabilidad a la contaminación, en términos generales tienden a ser los mas difíciles de rehabilitar una vez contaminados.
- Vulnerabilidad Nula: No existe peligro alguno de contaminación del agua subterránea.

La metodología para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca, se enfoca hacia los acuíferos más someros o la parte más superficial de los acuíferos de interés, ya que se considera que las características de la zona no saturada, son las que finalmente determinan el grado de protección, porque son los más susceptibles a ser afectados adversamente por una carga contaminante y una vez contaminados, este fenómeno se puede inducir fácilmente hacia los horizontes profundos.

## **7.2. RECOPIACIÓN Y ANALISIS DE INFORMACIÓN**

La información que genera el mapa de vulnerabilidad, partió del análisis de datos existentes en INGEOMINAS y otras entidades públicas y privadas, siguiendo el Método de Indexación “GOD” mostrado en el Cuadro 1. Se consideró información de estudios geológicos e hidrogeológicos locales y regionales, registros de pozos, sondeos eléctricos e información de la Base de Datos Hidrogeológicos (B.D.H.).

### **7.2.1. Valoración de los parámetros de la metodología “GOD”.**

- Condición del acuífero, Parámetro “G”: Se analizó el acuífero más somero a partir de información litológica de pozos, estudios geológicos e hidrogeológicos regionales y el *Mapa de Estado del Recurso* del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, asumiendo las zonas de recarga y los acuíferos en los cuales no existe certeza sobre la continuidad lateral o no estén conectados hidráulicamente como acuíferos libres; estableciendo así la categorización para el acuífero de acuerdo a su condición de confinamiento.

- Predominio litológico de la zona no saturada, Parámetro “O”: Se evaluó con información de registros litológicos de pozos, sondeos eléctricos verticales y estudios geológicos e hidrogeológicos regionales y locales, estos últimos usados cuando no existía información de columnas de pozos y por tanto se asumió que los materiales aflorantes son los mismos que constituyen el acuífero, usando la composición de las formaciones como litología predominante en la zona no saturada; se consideraron también características como la porosidad, permeabilidad, compactación, grado de fracturamiento y/o carstificación, flujo intergranular o a través de fracturamiento y/o carstificación, que para algunos acuíferos en la zona de recarga son mostrados en el Mapa de Estado del Recurso.
- Profundidad de la tabla de agua o del techo del acuífero confinado, Parámetro “D”: Se analiza a partir de información del nivel freático de los aljibes en los acuíferos libres, ya que representan la primera capa saturada o más superficial, y/o por datos de algunos pozos, cuya profundidad no sobrepasa los 50 metros y captan el acuífero más somero; estos datos fueron seleccionados de la B.D.H del INGEOMINAS y de estudios hidrogeológicos regionales, tomando preferencialmente aquellos que fueron medidos en épocas de lluvia; usando así los niveles superficiales, que representan las condiciones más críticas. Cuando el acuífero es confinado, las isolíneas de niveles estáticos representan la profundidad del techo del primer acuífero.

### **7.2.2. Zonificación del grado de vulnerabilidad**

Mediante la superposición de las capas de información y la multiplicación de los parámetros “G”, “O” y “D”, usando el Sistema de Información, ARC/INFO, se obtiene el Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación.

### **7.2.3. Evaluación y zonificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación**

La evaluación de la vulnerabilidad se realizó, para la zona no saturada de los acuíferos más someros. La Plancha 5-04, presenta por el método de evaluación “GOD”, tres categorías de zonificación de la Vulnerabilidad Intrínseca: Extrema, Alta y Moderada. Las zonificaciones de baja y muy baja vulnerabilidad no se presenta en los acuíferos someros de esta plancha, ya que las características intrínsecas en la mayoría de los acuíferos de la zona de estudio ofrecen poca garantía de protección a la calidad de las aguas subterráneas, especialmente la condición de acuífero y predominio litológico en la zona no saturada, los cuales reciben un valor alto de indexación, que clasifica a la mayoría de los acuíferos como altamente sensibles a la contaminación.

La Tabla 1, muestra un resumen de las características intrínsecas analizadas, valores indexados a cada una ellas y zonificación de la vulnerabilidad.

Tabla 1 RESUMEN DE LOS PARAMETROS "G", "O", "D" E INDEXACION Y GRADO DE VULNERABILIDAD PARA LAS UNIDADES

TABLA 1. RESUMEN DE LOS PARAMETROS "G", "O", "D" E INDEXACION Y GRADO DE VULNERABILIDAD, PARA LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE LA PLANCHA 5-04											
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS		TIPO DE ACUIFERO	INDICE "G"	PREDOMINIO LITOLOGICO EN LA ZONA NO SARURADA	SED. INCONS	ROCA	INDICE "O"	NIVELES ESTATICOS ó PROF DEL PRIMER ACUIDERO	INDICE "D"	INDICE DE VULNERABIL	GRADO DE VULNERAB
ACUIFEROS CUATERNARIOS SUPERFICIALES	Acuíferos Aluviales y de Terrazas Aluviales	LIBRE	1.0	Limos	x		0.50	DE <2m HASTA 20m	DE 1.0 HASTA 0.7	DE 0.40 HASTA 0.70	MODERADA Y ALTA
				Intercalaciones de limos, gravas, arenas y arcillas	x		0.70				
				Arenas eólicas antiguas	x		0.80				
	Acuífero Morrosquillo	LIBRE	1.0	Intercalaciones de gravas, arenas y limos	x		0.70	DE <2m HASTA 10m	DE 1.0 HASTA 0.8	DE 0.56 HASTA 0.7	ALTA Y EXTREMA
				Arenas gruesas	x		0.80				
	Acuíferos Cuaternarios Profundos	Acuífero Arroyo Grande	LIBRE	1.0	Gravas y arenas finas a gruesas	x		0.90	DE 2m HASTA 10m	DE 0.9 HASTA 0.8	DE 0.72 HASTA 0.81
Acuífero Rotinet		LIBRE	1.0	Gravas fina a gruesas, en matriz arenosa, arenas.	X		0.90	De 10 m HASTA 20m	0.7	0.63	ALTA
Acuífero del Cesar		LIBRE	1.0	Limos	X		0.50	DE <2m HASTA 20m	DE 1.0 HASTA	DE 0.45 HASTA	MODERADA, ALTA Y

			Intercalaciones de limos, gravas, arenas y arcillas	X		0.70		0.7	0.80	EXTREMA			
			Arenas	X		0.80							
Acuífero Zona Bananera de Santa Marta	LIBRE	1.0	Intercalaciones arenas, limos, gravas.	X		0.70	DE <2m HASTA 10m	DE 1.0 HASTA 0.8	DE 0.31 HASTA 0.80	MODERADA, ALTA Y EXTREMA			
	LIBRE-CUBIERTO	0.5	Arenas y gravas	X		0.80							
			Gravas y arenas gruesas	X		0.90							
Acuífero Ariguani	LIBRE	1.0	Limos	X		0.50	DE <2m HASTA 10m	DE 1.0 HASTA 0.8	DE 0.40 HASTA 0.70	MODERADA Y ALTA			
			Intercalaciones de arenas, gravas. Limos	X		0.70							
Acuífero La Mojana	LIBRE	1.0	Limos y arcillas	X		0.50	DE <2m HASTA 20m	DE 1.0 HASTA 0.7	DE 0.35 HASTA 0.5	MODERADA			
Acuífero Betulia Arenoso	LIBRE	1.0	Intercalaciones de limos, arenas y arcillas	X		0.70	DE <2m HASTA 20m	DE 1.0 HASTA 0.7	DE 0.49 HASTA 0.70	MODERADA y ALTA			
ACUÍFEROS Y UNIDADES CONFINANTES DEL Terciario	Acuífero del Popa	LIBRE	1.0	Areniscas gruesas y limolitas			x	0.70	DE 2m HASTA 10m	DE 0.9 HASTA 0.8	DE 0.56 HASTA 0.81	ALTA Y EXTREMA	
				Intercalaciones de limos, arenas y gravas		X		0.70					
				Caliza arrecifal			x	0.90					
	Acuífero Morroa	LIBRE	1.0	Limolitas y arcillolitas limosas			x	0.60	DE <2m HASTA 10m	DE 1.0 HASTA 0.8	DE 0.48 HASTA 0.70	MODERADA Y ALTA	
				Areniscas gruesas y areniscas con matriz arcillosa			x	0.70					
	Acuífero Sabanalarga	LIBRE	1.0	Areniscas y conglomerados			x	0.70	DE 5 m HASTA 35 m	DE 0.8 HASTA 0.6	DE 0.49 HASTA 0.56	MODERADA Y ALTA	
Acuífero Tubará	LIBRE	1.0	Intercalaciones de gravas arenas y arcillas		X		0.70	DE 2 m HASTA 10 M	DE 0.9 HASTA 0.8	DE 0.56 HASTA 0.63	ALTA		

	Acuífero Chivolo	LIBRE	1.0	Areniscas bioclásticas y areniscas limosas		x	0.70	DE 5m HASTA 20 m	DE 0.8 HASTA 0.7	DE 0.49 HASTA 0.56	MODERADA Y ALTA
	Acuífero Cerrito	LIBRE	1.0	Areniscas arcillosas finas a gruesas		x	0.70	DE <2m HASTA 10m	DE 1.0 HASTA 0.8	DE 0.56 HASTA 0.70	ALTA
	Acuífero Cuesta	LIBRE	1.0	Limos	X		0.5	DE <2m HASTA 30m	DE 1.0 HASTA 0.6	DE 0.35 HASTA 0.63	MODERADA Y ALTA
Intercalaciones de limos, arenas y gravas				X	0.6						
Grvas con matriz limosa				X	0.7						
	Acuífero Fundación	LIBRE	1.0	Areniscas de grano fino a grueso		x	0.70	5 - 10	0.8	0.56	ALTA
	Acuífero Toluvejo	LIBRE	1.0	Calizas arrecifales,areniscas calcáreas y conglomerado cuarzoso		x	0.90	DE <2m HASTA 10 m	0.64	DE 0.72 HASTA 0.90	EXTREMA
	Acuífero Maco	LIBRE	1.0	Areniscas arcóscas líticas		x	0.70	S. I.	N. S. D	N. S. D	N. S. D
	Acuífero Necesidad	LIBRE	1.0	Conglomerados con matriz arenosa y areniscas		x	0.70	S. I.	N. S. D	N. S. D	N. S. D
	Acuífero Guayabo	LIBRE	1.0	Areniscas friables, limolitas y arcillolitas arenosas		x	0.70	S. I.	N. S. D	N. S. D	N. S. D
ACUIFEROS CRETACIC OS	Acuífero La Luna	LIBRE	1.0	Intercalacions de calizas, calizas arenosos y limolitas calcáreas		x	0.90	DE 2 m HASTA 10 m	DE 0.9 HASTA 0.8	DE 0.72 HASTA 0.81	EXTREMA
	Acuífero Cogollo	LIBRE	1.0	Calizas duras fracturadas		x	0.90	DE <2 m HASTA 20 M	DE 1.0 HASTA 0.7	DE 0.63 HASTA 0.72	ALTA EXTREMA



Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos más someros, obtenida por el método “GOD” y los parámetros analizados en cada sistema acuífero de la Plancha 5-04, se describen a continuación:

### **7.2.3.1. Acuíferos Cuaternarios**

#### **7.2.3.1.1. Acuíferos Cuaternarios Someros**

##### **- Acuíferos Aluviales y de Terrazas Aluviales**

Estos acuíferos asociados principalmente a depósitos aluviales y de terrazas aluviales del Río Magdalena y sus afluentes, son generalmente de extensión local, baja productividad, en capas individuales, discontinuas y con espesores que generalmente no superan los 30 m.

La mayoría son de carácter libre aunque localmente confinados por niveles arcillosos, en capas no conectadas hidráulicamente y se constituyen como áreas de recarga de poca capacidad de infiltración; el valor de indexación corresponde a 1.0 en su condición de acuífero (Parámetro “G”).

La zona no saturada de la mayor parte de los acuíferos aluviales y de terrazas aluviales de la plancha 5-04, está compuesta por sedimentos no consolidados, permeables, constituidos por intercalaciones de limos, gravas, arenas y arcillas; se les asigna una valoración de 0.7 en dominio litológico (Parámetro “O”). La composición de estos acuíferos varía hacia el Departamento del Atlántico en la franja del valle del Río Magdalena desde Calamar hasta cerca de Remolino, donde se presenta un incremento de material limoso en la zona no saturada (índice 0.5), y en los alrededores de la población de Ponedera en el mismo departamento se encuentra cubierto por un nivel superficial (aproximadamente de 10 m de espesor) de arenas eólicas antiguas, muy permeables (índice 0.8).

Los niveles estáticos son muy someros generalmente cerca al nivel base de los ríos hasta casi 20 m de profundidad en las zonas levemente más altas, asignando valores de índices que van desde 1.0 hasta 0.7 en el Parámetro “D”.

Por sus características intrínsecas, la mayoría de estos acuíferos son altamente susceptibles a la contaminación y en el Departamento del Atlántico, el acuífero es de moderada vulnerabilidad, dado que recibe cierto grado de protección por presentar material limoso en la zona vadosa.

### **7.2.3.1.2. Acuíferos Cuaternarios Profundos**

#### **- Acuífero Morrosquillo**

Este acuífero cuaternario asociado a la zona litoral y abierto al mar, está conformado por sedimentos cuaternarios de origen marino y transicional, con variaciones laterales de facies y de espesor, compuesto fundamentalmente por intercalaciones de arenas, gravas, guijarros y arcillas, que yacen sobre un basamento impermeable de rocas Terciarias correspondientes a las formaciones Porquera y San Cayetano Superior.

En general los acuíferos más someros se consideraron como libres, aunque presenta confinamientos locales por presencia en superficie de lentes arcillosos; asignándose valores de 1.0 en el parámetro “G”.

Hacia el norte la zona vadosa está compuesta principalmente por gravas, arenas gruesas y en menor proporción limos; hacia la parte media e inferior por intercalaciones de limos, gravas, arenas y arcillas como lo describe un estudio hidrogeológico en la zona (Díaz-Granados A, 1988), donde concluyen que un alto estructural en las inmediaciones de Tolú divide el área en dos partes bajas, una hacia el norte predominantemente arenosa y la otra al sur predominando las arcillas sobre el material arenoso; los sedimentos son no consolidados y altamente permeables. Por tanto el predominio litológico de la zona no saturada (Parámetro “O”) hacia la parte norte, se asumió como arenas con un valor de 0.8 y hacia la parte media y sur se calificó como intercalaciones de limos, gravas y arenas con un índice de 0.7.

El flujo subterráneo desemboca en el mar donde los niveles son muy subsuperficiales, aumentando hacia el piedemonte oriental, en cercanías de la población de Toluviejo, donde niveles alcanzan profundidades hasta de 10 metros, efecto dado por suave cambio topográfico. Para el Parámetro “D”, se asignaron índices con valores de 1.0 para los sectores costeros y variando hasta 0.8 para los niveles más profundos.

Después de multiplicar los índices asignados a los parámetros G, O y D para este acuífero, se obtuvieron vulnerabilidades extrema y alta. Es de esperar que se encuentre este tipo de calificaciones en estos acuíferos, porque la atenuación de contaminantes se da a mayores profundidades en materiales no consolidados. La zona norte del acuífero presenta una vulnerabilidad intrínseca extrema, debido a la presencia de los niveles areno-gravosos, muy permeables. Hacia la parte media y sur la vulnerabilidad es alta, donde existe un predominio de limos, arenas y gravas en la zona no saturada. Las actividades antrópicas pueden causar contaminación a los acuíferos, al igual que las aguas marinas si su explotación no se maneja adecuadamente.

#### **- Acuífero Arroyo Grande**

Este acuífero de gran importancia hidrogeológica y alta explotación, está conformado por depósitos poco compactos del Neógeno-Cuaternario.

El acuífero somero se encuentra en general en condiciones libres, con algunos confinamientos locales hacia el sur occidente; se valoró con un índice de 1.0 en el

parámetro “G”. La zona no saturada que yace sobre el acuífero, está compuesta esencialmente por gravas, con intercalaciones arenosas de grano fino a grueso y en menor proporción limos, el material es suelto y permeable; se asignó un índice de 0.9 (Parámetro “O”), asumiendo una predominancia litológica de gravas. Los niveles estáticos fluctúan regionalmente entre de 2 y 10 metros, aunque en la parte central del acuífero, los niveles se hallan bastante deprimidos, alcanzando una profundidad mayor de 30 metros al parecer por sobreexplotación en los campos de pozos actuales. Estos últimos datos de niveles no se consideraron; se indexó la profundidad del nivel del agua con valores de 0.8 y 0.9.

Este acuífero se zonificó como de Extrema Vulnerabilidad a la Contaminación dadas sus características intrínsecas. Por ser un acuífero costero puede ser susceptible a la contaminación antrópica y presentar peligro de intrusión salina por su conexión al mar o por sobreexplotación.

#### **- Acuífero Rotinet**

Acuífero multicapa, de extensión local, aunque de buena productividad, que se presenta como parches aislados, algunos de ellos no cartografiados a la escala de este trabajo. Está compuesto por sedimentos no consolidados, tamaño grava fina a gruesa, arenas de grano grueso, en matriz arenosa, que posiblemente son producto de la depositación de un antiguo brazo del Río Magdalena.

El acuífero superficial es considerado de tipo libre (índice 1.0, parámetro “G”). Por las características litológicas del acuífero, se indexó con un valor de 0.9, asumiendo un predominio de gravas permeables en la zona no saturada. Los pocos datos de niveles estáticos muestran valores que sobrepasan los 10 metros, asignándose un índice de 0.7 en el parámetro “D”.

El acuífero se zonificó como de alta vulnerabilidad a la contaminación, además teniendo en cuenta que su área de afloramiento es su misma zona de recarga.

#### **- Acuífero Cesar**

Intercalaciones de arenas, gravas y algunos niveles arcillo-limosos depositados en un ambiente continental aluvial, que rellenan un antiguo graben, constituyen el Acuífero Cuaternario del Cesar. Este acuífero de alta explotación, presenta variaciones faciales en la horizontal y vertical y en el espesor de los sedimentos, que aumentan hacia la parte central del valle; la base de este acuífero, corresponde a rocas calcáreas cretáceas de gran productividad.

El acuífero más somero es esencialmente no confinado, aunque presenta confinamientos locales, especialmente en la parte sur, donde se encuentran algunas capas aluviales de textura arcillosa (Angel, 1995). El acuífero somero se indexó con un valor de 1.0 (Parámetro “G”), correspondiente a condición libre, por considerarse como una calificación regional.

En la zona no saturada del acuífero, predominan materiales no consolidados permeables, aumentando el contenido arenoso hacia la parte central y norte; este material conforma las terrazas del Río Cesar hacia el oriente y depósitos de pendiente en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, en este sector se asumió un índice de 0.8 por su carácter arenoso. Hacia el sur desde las poblaciones de San Diego hasta Codazzi, prevalecen en superficie las intercalaciones de gravas, arenas y arcillas (índice 0.7), que constituyen los depósitos aluviales recientes del Río; al sur de la población de Codazzi predominan materiales limosos, por lo cual se asignó un índice de 0.5 en este sector (Parámetro “O”).

La profundidad del nivel estático varía de muy superficial en el centro del valle y aumenta hasta 15 metros en sectores del piedemonte oriental, efecto dado por la topografía; los valores indexados varían de 0.7 a 1.0 (Parámetro “D”).

El acuífero presenta tres categorías de zonificación de vulnerabilidad a la contaminación: Extrema, Alta y Moderada. Gran parte del acuífero presenta Alta Vulnerabilidad como en el piedemonte de la Serranía de Perijá y Sierra Nevada de Santa Marta y hacia el suroccidente; la zona centro-norte en los alrededores de la ciudad de Valledupar, es la más susceptible de ser contaminada, siendo zonificada como Vulnerabilidad Extrema; en este sector los niveles estáticos son muy superficiales y la zona no saturada tiene un predominio arenoso. En los alrededores de la población de Codazzi, en la zona no saturada prevalece material limoso y hacia el este de La Paz los niveles se hallan entre 10 y 20 metros, por estas características, la vulnerabilidad es moderada en estos dos sectores. Las actividades antrópicas se constituyen como la principal amenaza de contaminación; las cargas contaminantes pueden provenir de fertilizantes y otros productos agrícolas así como de fosas sépticas y efluentes de las poblaciones con baja cobertura de alcantarillado.

#### **- Acuífero Zona Bananera de Santa Marta**

Acuífero Cuaternario, de alta explotación, conformado por sedimentos no consolidados aluviales, coluviales que constituyen un acuífero multicapa; los materiales provienen del macizo ígneo-metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta y suprayace discordantemente sobre las formaciones terciarias Fundación y Zambrano.

En la plancha 5-04 el acuífero más somero, se halla en condiciones de no confinamiento y está asociado principalmente a depósitos de arenas y gravas; hacia un pequeño sector en la parte norte es libre- cubierto, siendo indexado con valores de 1.0 y 0.5 respectivamente para el Parámetro “G” o condición de acuífero.

Para evaluar el parámetro “O” (predominio litológico de la zona no saturada), se establecieron tres categorías, basadas en características de permeabilidad y porosidad relativas: En la parte central con predominio arenoso y en menor proporción limos y lentes de gravas, un índice 0.8; hacia el occidente y un pequeño sector en cercanías de la Sierra Nevada, predominan intercalaciones de arenas, limos, lentes de gravas y

arenas gruesas, índice 0.7; como parches aislados y de poca extensión, gravas y arenas gruesas lenticulares con algunos niveles limosos constituyéndose en áreas de recarga de alta capacidad de infiltración, por lo cual se le asigna índice 0.9. (Estudio Hidrogeológico y de Contaminación de Acuíferos en la Zona Bananera de Santa Marta, Magdalena, 1998).

Hacia la parte central del acuífero los niveles freáticos son muy superficiales con valores menores de 2 m y se hacen más profundos hacia el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta con niveles hasta de 10 m, sector que se encuentra topográficamente más elevado; se indexaron con valores de 1.0, 0.9 y 0.8 en el parámetro "D".

El acuífero presenta extrema vulnerabilidad a la contaminación en la parte central y hasta la población de Fundación; alta vulnerabilidad hacia el sector occidental y parte de la zona oriental y moderada en el sector donde se encuentra el acuífero cubierto por una capa impermeable. Por las extensas explotaciones agrícolas, los agroquímicos se constituyen como una carga constante de contaminantes hacia los acuíferos, al igual que los efluentes de poblaciones con baja cobertura de alcantarillado.

#### **- Acuífero Ariguani**

Este acuífero multicapa, está compuesto por intercalaciones de arenas, gravas, limos y arcillas, provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, que rellenaron una pequeña fosa; descansa sobre rocas impermeables terciarias.

El acuífero más somero es libre, aunque con algunos lentes arcillosos que producen confinamientos locales; por no encontrarse conectado hidráulicamente, se le asigna un índice de 1.0 en el Parámetro "G" considerándose regionalmente en condiciones de no confinamiento.

La zona no saturada se encuentra compuesta principalmente por intercalaciones de arenas, gravas, limos y arcillas y hacia el sur con predominio limoso, con índices en el parámetro "O" de 0.5 para los limos y de 0.7 para el conjunto de intercalaciones areno-limosas. Los pocos aljibes que se encuentran sobre el acuífero, distribuidos principalmente hacia el sector noroccidental, muestran niveles muy superficiales y hacia el sur alcanzan profundidades cerca de 10 m, los índices asignados corresponden a 1.0 y 0.8 (Parámetro "D").

Por las características evaluadas este acuífero es de Alta Vulnerabilidad a ser contaminado, principalmente por actividades antrópicas de contaminantes provenientes de fertilizantes y otros productos agrícolas, los cuales podrían ser los causantes de la alta mineralización que se observa en algunos sectores del acuífero.

#### **- Acuífero La Mojana**

El acuífero está constituido por sedimentos no consolidados, conformados por intercalaciones de limos y arenas medias a gruesas y arcillas, con variaciones laterales

y verticales de facies, de material proveniente de la depositación fluvial del sistema Magdalena – Cauca – San Jorge; presenta en superficie gruesas capas de arcillas y limos arcillosos.

Es posible que exista infiltración directa, aunque de baja capacidad desde la superficie hacia los estratos inferiores o que haya conexión hidráulica entre acuíferos someros. Se encuentran varios confinamientos locales y capas impermeables superficiales que cubren los acuíferos someros, pero la mayor parte del acuífero es de tipo libre y se valoró en el parámetro "G" con un índice de 1.0. El material que constituye la zona vadosa de poco espesor, es no consolidado y poco permeable y está compuesto principalmente por limos y arcillas; se le asigna un valor de indexación para el parámetro "O" de 0.5. Los pocos datos de niveles estáticos existentes muestran valores muy superficiales, que posiblemente estén conectados hidráulicamente con la gran cantidad de ciénagas presentes en la zona, los niveles aumentan hacia el norte, donde alcanzan valores de un poco más de 10 m donde el sector es topográficamente más alto; los índices asignados para el parámetro "D" varían de 1.0 hasta 0.7.

El acuífero se cartografió como de moderada susceptibilidad a la contaminación, determinado por la presencia de los niveles limo-arcillosos en la zona no saturada, que se constituyen como una barrera de mediana protección al acuífero.

#### **- Acuífero Betulia Arenoso**

Acuífero multicapa de extensión regional, con variaciones de la continuidad en la horizontal, compuesto por espesos paquetes de sedimentos no consolidados, que rellenaron una gran fosa en un ambiente fluvio-deltáico; está constituido principalmente por interdigitaciones de capas de limos, arenas, gravas y arcillas, que reposan sobre la secuencia impermeable del Miembro Betulia Arcilloso.

El área de afloramiento constituye la zona de recarga principal de este acuífero, de mediana capacidad de infiltración, por lo tanto se consideran en general condiciones de no confinamiento para el acuífero somero, con confinamientos locales por presencia de capas arcillosas en superficie, que en promedio alcanzan 5 metros de espesor y algunos acuíferos libres - cubiertos por capas arcillosas, con un índice de 1.0 (Parámetro "G").

De acuerdo con los registros litológicos de pozos, en superficie y zona vadosa, predominan las intercalaciones de limos, arcillas, arenas y arenas arcillosas. Se asigna un valor de 0.7 en el Parámetro "O".

Los niveles estáticos hacia el sector oriental son muy superficiales, con valores menores de 2 m de profundidad y hacia el norte y occidente en contacto con las rocas arcillosas terciarias de la Formación Sincelejo, los niveles alcanzan hasta 20 m, dado que estos sectores se hallan topográficamente más altos; los índices varían de 1.0 a 0.7 en el Parámetro "D".

La mayoría del acuífero se zonificó como de Alta Vulnerabilidad, influenciado principalmente por su condición de acuífero y los niveles estáticos; en lo alrededores de la población de Galeras, al occidente de La Unión y al norte de la Ciénaga Punta de Blanco los niveles estáticos son un poco más profundos, la susceptibilidad se cartografió como moderada.

### **7.2.3.2. Acuíferos Del Terciario**

#### **- Acuífero del Popa**

El Acuífero del Popa lo conforma el conjunto inferior de la Formación Unidad Detrítica del Popa, compuesta por intercalaciones de areniscas de grano muy fino, ligeramente conglomeráticas y areniscas limosas. El acuífero está suprayacido en algunos sectores por la Unidad de Calizas Arrecifales del Popa, unidad constituida por calizas arrecifales fosilíferas, areniscas calcáreas y arcillolitas. Al este de Punta Canoas unos delgados depósitos cuaternarios compuestos por intercalaciones de gravas, arenas y limos cubren el acuífero que forma la Unidad Detrítica.

El acuífero somero es de tipo libre con algunos confinamientos locales, la valoración a esta característica es de 1.0 en el Parámetro “G”. La zona no saturada del acuífero tiene tres predomios litológicos (Parámetro “O”), donde aflora la Unidad Detrítica el predominio es arenoso y se indexaron con un valor 0.7, a las calizas arrecifales y calcarenitas se les asignó un valor de 0.9 por considerarse muy permeables; los depósitos cuaternarios que yacen parte del acuífero están constituidos por gravas, arenas y limos, con índice de 0.7. Los niveles estáticos varían de 2 a 10 m. El índice asignado para la profundidad del nivel del agua (Parámetro “D”) es 0.9 y 0.8.

En los sectores donde se encuentran las calizas arrecifales, permeables por porosidad secundaria la vulnerabilidad es extrema, ya que se esperan velocidades de flujo muy altas. En la zona donde el acuífero es cubierto por depósitos cuaternarios y donde aflora la Unidad Detrítica, se zonificaron como de vulnerabilidad alta. En la zona de Punta Canoas el acuífero es abierto al mar y puede estar en peligro de contaminación por intrusión marina.

#### **- Acuífero Morroa**

Las rocas que conforman este acuífero corresponden al Miembro Superior Arenoso de la Formación Sincelejo, unidad terciaria de origen aluvial, compuesta fundamentalmente por interdigitaciones de areniscas, conglomerados, limolitas y arcillolitas, con variaciones de facies laterales y verticales; estas rocas suprayacen el Miembro Inferior Arcilloso de la misma formación, que se constituye como una base impermeable. Este acuífero se presenta en la zona aflorante como área de recarga, de gran capacidad y aprovechamiento.

El acuífero más somero, en la zona de afloramiento, se encuentra en condiciones libres, ya que existe una infiltración directa hacia el acuífero, constituyéndose como la

zona de recarga, se indexó con un valor de 1.0 en el parámetro de condición del acuífero.

El predominio litológico de la zona no saturada del acuífero en el área de afloramiento, varía en diferentes sectores; hacia la parte central del área en los alrededores de Sincelejo y hacia el norte, está compuesta esencialmente por areniscas gruesas y areniscas con matriz arcillosa, semiconsolidadas y permeables, asignándole un índice de 0.7. Desde cerca de la población de Sampués y hasta Sahagún y hacia el norte en la población de Ovejas y los sectores aledaños, se halla en la zona no saturada una capa de limolitas y arcillolitas limosas, que alcanzan espesores aproximados entre 5 y 10 m, estos niveles se calificaron con un índice de 0.6 en el Parámetro "O".

Los niveles estáticos más superficiales se encuentran en la parte central y sur del acuífero y aumentan hasta valores de 10 m hacia el contacto con la Formación Betulia Arcilloso al oriente. Los índices varían de 1.0 a 0.8 en el Parámetro "D".

La mayor parte de la zona aflorante del acuífero presenta una vulnerabilidad alta a ser contaminado y además es muy sensible por constituirse como zona de recarga, donde posiblemente el tiempo de retención del agua en la zona no saturada es muy corto. Hacia los sectores de Ovejas, Sampués y Hénequen se zonificó como de moderada vulnerabilidad; en los dos primeros sectores debido a la presencia de una capa predominantemente limosa en la zona no saturada y el último sector varía por la profundidad de los niveles estáticos.

#### **- Acuífero Sabanalarga**

Este acuífero de extensión regional, multicapa, compuesto por rocas depositadas en un ambiente fluvial durante el Terciario. Está compuesto por una alternancia de areniscas y conglomerados poco consolidados con esporádicas intercalaciones de arcillolitas.

Teniendo en cuenta la litología que compone el acuífero, se hacen las valoraciones. El acuífero se considera de carácter libre en la zona de afloramiento, que constituye a la vez el área de recarga del acuífero; se indexó con un valor de 1.0 para el Parámetro "G". El material que constituye el acuífero es predominantemente arenoso, al cual se le asigna un valor de 0.7 en el Parámetro "O" y los niveles estáticos varían entre 5 y casi 40 m de profundidad, que corresponde a valores de indexación entre 0.8 y 0.6 en el Parámetro "D".

El acuífero presenta material permeable en la zona no saturada, calificado de carácter libre, los niveles no son muy superficiales hacia el oriente, lo que permite un proceso de retardación en la llegada de posibles contaminantes, en este sector la vulnerabilidad del acuífero se determinó como moderada. Hacia el occidente los niveles son un poco más someros y después de la indexación, la vulnerabilidad resultante es alta en este sector.



#### **- Acuífero Tubará**

Acuífero multicapa, compuesto por rocas del Terciario, depositadas en un ambiente transicional a continental, constituidos por areniscas friables, areniscas calcáreas, conglomerados, arcillolitas y arcillolitas calcáreas con porosidad primaria y alta permeabilidad en los niveles arenosos y baja en los limo-arcillosos. El acuífero está cubierto por delgados depósitos cuaternarios aluviales de aproximadamente 10 metros de espesor.

El acuífero es considerado libre, aunque localmente se encuentra bajo condiciones de confinamiento, debido a las intercalaciones arcillosas, se le asigna al Parámetro “G”, un índice de 1.0. Regionalmente la zona no saturada, es predominantemente arenosa, aunque existen depósitos aluviales en las partes bajas, compuestos por depósitos areno-limosos; se le asignó un valor de 0.7 en el Parámetro “O”. El nivel freático varía entre 2 y 10 m, calificado con índices entre 0.9 y 0.8 en el parámetro “D”

Después de multiplicados los índices de cada característica analizada, el acuífero se zonificó como de alta vulnerabilidad a la contaminación intrínseca, teniendo en cuenta que el material que yace al acuífero es no consolidado.

#### **- Acuífero Chivolo**

Capas gruesas a medias de areniscas bioclásticas a biosparíticas y de areniscas limosas de grano fino a medio, conforman los niveles permeables de este acuífero multicapa, además presenta intercalaciones de limolitas arenosas y arcillosas y arcillolitas.

Por las características litológicas que constituyen el acuífero, es considerado de tipo libre, su zona de afloramiento, que también se constituye como área de recarga aunque con baja capacidad de infiltración, por lo cual se indexó con un valor de 1.0 (Parámetro “G”). El acuífero lo constituyen principalmente areniscas friables, por lo que se asume este mismo predominio litológico en la zona no saturada, con un valor de indexación de 0.7. Los pocos datos de niveles estáticos muestran que hacia el sector de la población Chivolo los niveles estáticos del agua subterránea, pueden estar entre 10 y 20 m y hacia el sector de la población de Astrea los niveles varían entre 5 y 10 m, con valores de indexación del Parámetro “D” de 0.7 y 0.8 respectivamente.

El acuífero presenta Alta Vulnerabilidad a la contaminación hacia el sector de Astrea y Moderada Vulnerabilidad cerca de la población de Chivolo; esta zonificación está determinada principalmente por el carácter libre y el material poroso y permeable, que yace el acuífero y que a la vez permite la infiltración directa.

#### **- Acuífero Cerrito**

El acuífero está compuesto por los niveles arenosos porosos y permeables de la parte superior de la Formación Cerrito, constituida por areniscas arcillosas finas y gruesas con intercalaciones de calizas fosilíferas y areniscas calcáreas.

El acuífero se consideró de tipo libre (índice 1.0); se asumió un predominio litológico arenoso en la zona no saturada (índice 0.7) y los niveles estáticos de los pocos aljibes muestran valores más someros a la altura de Sincelejo que hacia el sur se profundizan hasta cerca de 10 m (índice 1.0 y 0.8).

Por los valores numéricos asignados a las características de la zona no saturada para la evaluación por el método GOD, el Acuífero Cerrito es altamente vulnerable a la contaminación intrínseca.

#### **- Acuífero Cuesta**

Este acuífero de gran extensión, está constituido por intercalaciones de areniscas cuarzosas, conglomerados de matriz arenosa y arcillolitas limosas de la Formación Terciaria Cuesta. Está cubierto por un Acuífero Cuaternario Somero con espesor entre 20 y 30 m, constituidos por depósitos de arenas, gravas, limos y arcillas intercaladas. Para efecto de evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, se analizó el acuífero cuaternario.

El acuífero cuaternario somero es libre, pero con algunos sectores localmente confinados, se presentan niveles limosos en superficie especialmente hacia el sector Occidental y central, pero estos permiten una infiltración directa del agua hacia el acuífero; no debe haber conexión hidráulica ya que lo componen intercalaciones de materiales finos y gruesos que varían tanto vertical como lateralmente. El acuífero se indexó con un valor de 1.0 (Parámetro “G”), correspondiente a condición libre, por considerarse como una calificación regional.

En la zona no saturada los materiales son permeables e inconsolidados y se tienen tres predominios litológicos (Parámetro “O”). Hacia los piedemontes de la Serranía de Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta, predominan las intercalaciones de arcillas, gravas y arenas (índice 0.7); hacia el sector occidental sobre el valle del Río Cesar y parte del Valle del Río Magdalena, tiene gran cantidad de material limoso (índice 0.5); al sur de la Ciénaga de Zapatosa y limitada al Oriente por el Macizo de Santander, se presentan materiales gravosos con matriz arcillo-limosa (índice 0.6), que son parte de unos depósitos de terrazas y abanicos aluviales (Mapa de rezonificación de los primeros 30 m en el departamento del Cesar, en Angel 1995).

La profundidad del nivel estático varía de muy superficial hacia el sur (menor de 2 m) cerca de la población de La Gloria y de 2 a 5 m en la parte central y nororiental del acuífero, aumentando hacia los piedemontes con valores que fluctúan entre 5 y 10 m y produciendo una gran depresión de los niveles hacia la población de Bosconia, donde pueden alcanzar hasta 30 m de profundidad, los valores indexados abarcan desde 1.0 hasta 0.6 (Parámetro “D”)

El acuífero presenta Alta y Moderada Vulnerabilidad a la contaminación. Hacia gran parte del piedemonte del Macizo de Santander la vulnerabilidad es alta; la parte central - occidental y hacia alrededores de la población de Pelaya la susceptibilidad es

moderada, influenciada por cambios en el material predominante en la zona no saturada y la profundidad de los niveles estáticos.

#### **- Acuífero Fundación**

La Formación Fundación, se compone de areniscas de grano fino a grueso, muy friables y algunos niveles de conglomerados e intercalaciones de limolitas y arcillolitas. Aflora al oriente de la Población de Fundación como una franja Norte – Sur en el piedemonte oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta y conforma el denominado Acuífero Fundación de tipo multicapa. En la zona de afloramiento se constituyen como áreas de infiltración siendo materiales porosos y permeables.

Por constituirse como una zona de recarga y permitir la infiltración directa, el acuífero es considerado de tipo libre con un valor de indexación en el Parámetro “G” de 1.0. Por las características del material que compone el acuífero, se considera que en la zona no saturada existe un predominio arenoso, con índice de 0.7 en la calificación del Parámetro ”O” Los niveles estáticos del acuífero mas superficial varían entre 5 y 10 metros de profundidad, correspondiendo a un valor de 0.8 en la calificación del Parámetro “D”.

El acuífero se clasificó como de Alta Vulnerabilidad a la contaminación, ya que a pesar de que los niveles estáticos se encuentran profundos, el material que conforma la zona no saturada es muy permeable, poco consolidado y es zona de recarga, los que le resta protección al acuífero.

#### **- Acuífero Toluviejo**

El acuífero es fracturado y poroso, compuesto principalmente por calizas arrecifales, un conglomerado cuarzoso hacia la base e intercalaciones de areniscas calcáreas fosilíferas hacia la parte media y alta, rocas pertenecientes a la Formación Toluviejo de edad Terciaria; la mayor parte del área de extensión y afloramiento es la zona de recarga, con una mediana capacidad de infiltración

La zona de afloramiento, permite la infiltración directa y por ello el acuífero es considerado de tipo libre (Parámetro “G”, índice 1.0); el material aflorante, conforma el acuífero, por tanto el predominio litológico en la zona no saturada es de calizas blandas y calcarenitas, que por lo general tienen una porosidad secundaria por fracturamiento y porosidad intergranular, a estos materiales se les asigna un índice de 0.8; los niveles de los pocos aljibes y pozos que lo explotan varían entre menores de 2 y hasta 10 m, que corresponde a un índice de 1.0 a 0.8 en el Parámetro “D”.

El acuífero se zonificó como de Extrema Vulnerabilidad a la contaminación, esta clasificación se da por las características intrínsecas analizadas, especialmente el carácter libre del acuífero y el fracturamiento, donde las velocidades de flujo natural son muy altas.

#### **- Acuífero Maco**

El acuífero presenta porosidad primaria y secundaria por fisuración en rocas semiconsolidadas Terciarias de la Formación Maco, compuesta por conglomerados hacia la base que varían a areniscas arcóscas líticas hacia el tope. Tiene muy poca información hidrogeológica, pero por sus características litológicas se considera con gran potencial para almacenar y transmitir agua.

Se asumió como un acuífero libre (índice 1.0 en Parámetro "G"), con predominio arenoso (índice 0.7), no se halló información de niveles estáticos.

Presenta información parcial para la evaluación de la vulnerabilidad, posiblemente puede ser bastante sensible debido a que presenta material semiconsolidado, poroso y fisurado, que son factores claves que determinan la vulnerabilidad del acuífero a ser contaminado.

#### **- Acuífero Necesidad**

Acuífero multicapa compuesto por rocas poco consolidadas de edad Terciaria de la Formación Necesidad, litológicamente constituida por conglomerados con matriz arenosa e intercalaciones de areniscas y arcillolitas.

Por sus características litológicas, se asume que es un acuífero libre y con predominio arenoso en la zona no saturada. Presenta información parcial por tal razón no se pudo evaluar la vulnerabilidad.

#### **- Acuífero Guayabo**

El acuífero está compuesto por las rocas Terciarias de la Formación Guayabo de gran espesor; la unidad la componen areniscas friables, limolitas, arcillolitas arenosas y arcillolitas, que son más permeables hacia la parte superior por el predominio arenoso. Hacia la parte inferior predominan las arcillolitas con delgadas intercalaciones arenosas.

Con muy poca información para evaluar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación; por las características litológicas, se considera que presenta predominio arenoso en la zona no saturada y en la zona aflorante es de tipo libre.

### **7.2.3.3. Acuíferos Del Cretácico**

#### **- Acuífero La Luna**

El acuífero La Luna es de tipo agrietado-cárstico y lo componen las formaciones Cretácicas de composición calcárea y de gran espesor (Formaciones La Luna y Aguas Blancas). El acuífero se encuentra en el Valle del Río Cesar, cubierto por una espesa cobertura de sedimentos cuaternarios y aflora hacia los piedemontes donde se constituye como la zona de recarga.

En las zonas de recarga el acuífero es libre, con infiltración a través de fracturas y cavernas, el Parámetro “G”, corresponde a un valor de 1.0. El acuífero está constituido por calizas duras (intercalaciones de calizas, calizas arenosas y delgadas capas de limolitas calcáreas) afectado por grietas, dolinas y cavernas por consiguiente se valora con un índice de 0.9 en el parámetro “O” de dominio litológico en la zona no saturada. En el Cesar los niveles freáticos varían entre 2 y 10 metros y al Oriente de Valledupar alcanzan hasta 20 metros, el Parámetro “D” corresponde a los valores de 0.9 y 0.8. En la Cordillera Oriental no se cuentan con datos de niveles estáticos.

Los acuíferos carstificados o agrietados son muy susceptibles a la contaminación, porque la velocidad de infiltración es muy rápida, lo cual permitiría un transporte de contaminantes directo hacia la zona saturada. El acuífero La Luna por sus características intrínsecas que determina la sensibilidad del acuífero, es calificado como de Vulnerabilidad Extrema a la contaminación.

#### **- Acuífero Cogollo**

Acuífero de tipo agrietado, compuesto principalmente por los niveles calcáreos del Grupo Cogollo (Formaciones Opón, Aguardiente y Capacho) en el Departamento del Cesar y Tibú, Mercedes, Aguardiente y Simití en el Departamento de Norte de Santander. Las calizas presentan poca disolución.

El acuífero se consideró libre en su área de afloramiento, con índice de 1.0; se asumió un predominio litológico en la zona no saturada de calizas duras y facturadas, con un valor de indexación de 0.9; los niveles estáticos en el piedemonte de la Serranía de Perijá en el departamento de Cesar, fluctúan ente 5 y 20 metros con valor numérico de 0.7 y 0.8, hacia la cuenca del Catatumbo no se conocen datos de niveles.

El acuífero presenta una susceptibilidad a la contaminación extrema, determinada especialmente por el grado de fisuración de la roca, que permite un corto tiempo de retención del agua o contaminantes en la zona no saturada y un flujo rápido de posibles contaminantes hacia el acuífero

## 8. BIBLIOGRAFÍA

ANGEL, C y HUGUETT, A. 1995. Evaluación del agua subterránea en el departamento del Cesar. CORPOCESAR-INGEOMINAS. Bogotá.

ANGEL, C. HUGUETT, A. Evaluación del agua subterráneas en el Departamento del Cesar. Informe 2222.5, vol. 1, informe final, mayo 1995, INGEOMINAS.

BARRERA, R y CLAVIJO, V., 1997. Geología de la Zona Bananera de Santa Marta. Proyecto : Evaluación hidrogeológica y contaminación de acuíferos de la Zona Bananera de Santa Marta. Convenio Corpamag – GTZ – Ingeominas. Bogotá.

BARRERA, R., 1999. Informe geológico del Departamento de Sucre. Proyecto : Evaluación hidrogeológica regional de los departamentos de Sucre y Córdoba. Cartagena.

CORPOCESAR, ECOCARBON Ltda. Atlas ambiental del Departamento del Cesar. 1996.

DIAZ-GRANADOS, A., 1988. Resumen del Estudio Hidrogeológico del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo. Boletín Geológico, INGEOMINAS, V. 29. P. 8-44. Bogotá, Colombia.

DIAZ-GRANADOS, A; 1988. Resumen del estudio Hidrogeológico del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la zona Litoral del Golfo de Morrosquillo. Boletín Geológico Volumen 29, N. 1-pp 1-172. INGEOMINAS. Bogotá.

ECOPETROL., 1989. Información estratigráfica de pozos profundos.

ESLAVA J.A., LÓPEZ V.A., OLAYA G. Los climas de Colombia (Sistema de C.W. Thornthwaite). Atmósfera. No.6. Bogotá, marzo 1986.

FOSTER, S e HIRATA, R. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una Metodología basada en datos existentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, CEPIS. 2da edición, Lima, Perú.

FOSTER, et al, 1987, Contaminación de las Aguas Subterráneas, Organización Mundial de la Salud - OMS, Lima, Perú.

FRANCO, J., Estudio hidrogeológico y contaminación de acuíferos en la Zona Bananera de Santa Marta, Departamento del Magdalena, capítulo II, Geofísica 1997, INGEOMINAS.

HERNÁNDEZ, J.R., Memoria Geofísica por Acuífero, Plancha 5-04, Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, INGEOMINAS octubre de 2000.

HIDROAS-CARDIQUE, 1998. Estudio hidrogeológico del área de Arroyo Grande – Municipio de Cartagena. Bogotá.

HIDROGEOCOL LTDA., 1999. Estudio hidrogeológico en localidades rurales de los municipios de Caimito y San Marcos en el Departamento de Sucre. Santafé de Bogotá.

HIMAT. Estudio sobre el régimen de la precipitación en Colombia. Bogotá, 1989.

HUGUETT, A; 1988. Resumen de la hidrogeología de los departamentos de Atlántico y Bolívar al Norte del canal del Dique. Boletín Geológico Volumen 29, N. 1-pp 1-172. INGEOMINAS. Bogotá.

IDEAM. El medio ambiente en Colombia. Santafé de Bogotá, 1998.

IGAC. Monografía del Departamento de Sucre. Bogotá, 1969.

IGAC. Monografía del Departamento del Magdalena, 1973.

IGAC. Estudio Hidroclimático de la región del Caribe. Bogotá, 1975.

IGAC. Aspectos Geográficos del Departamento de Bolívar. Bogotá, 1977.

IGAC. Características Geográficas . Cesar. Santafé de Bogotá, 1993.

INGEOMINAS, 1977. Geología del Cuadrángulo D-8. Memoria técnica explicativa. Inédita. Servicio Geológico Nacional. Bogotá.

INGEOMINAS, 1982. Informe hidrogeológico de Cúcuta. Inf. No. 1825. Boletín Geológico, Vol. 25, No. 3. Bogotá. Colombia.

INGEOMINAS, 1984. Informe sobre el pozo 24-I-D-1, construido por Ingeominas en el Municipio de Sabanalarga, Atlántico. Contrato con Insfopal. Informe técnico No. 1907. Bogotá.

INGEOMINAS, 1985. Informe sobre las pruebas de bombeo en el pozo 17-III-D-98 Baranoa-3. Proyecto : Prospección hidrogeológica en los departamentos de Atlántico y Bolívar. Convenio TNO de Holanda – Ingeominas. Bogotá.

INGEOMINAS, 1988. Hidrogeología en los Corregimientos de Tacamochito y Tacasaluma, Departamento de Bolívar. Convenio Bilateral entre los Gobiernos de Colombia y Holanda Informe 2030.

INGEOMINAS, 1992. Perforación, Análisis y Resultados obtenidos en la Construcción del Pozo 32-III-C-1, Chivolo (Magdalena). Convenio INGEOMINAS Gobernación del Magdalena. CT 120. Cartagena.

INGEOMINAS, 1998. Evaluación hidrogeológica y contaminación de acuíferos de la Zona Bananera de Santa Marta, Departamento del Magdalena. Informe final. Convenio Corpamag – GTZ – Ingeominas. Bogotá.

INGEOMINAS. Datos de Sondeos Eléctricos Verticales SEVs (Tablas de Excel), Area Reconocimiento Geocientífico, 1999.

INGEOMINAS, en edición. Modelo geológico- geofísico del Departamento de Sucre. Bogotá

INGEOMINAS, 2001. Banco Nacional de datos Hidrogeológicos, B.N.D.H, Subdirección Recursos del Subsuelo. Bogotá.

INGEOMINAS, 1996. Perforación de 4 pozos de producción de agua subterránea en el Departamento de Bolívar. I-2270. Bogotá.

INGEOMINAS, 1992. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 24-IV-C-50 El Piñón (Magdalena). CT 124. Bogotá.

INGEOMINAS, 1992. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 31-II-A-3 San Antonio (Magdalena). CT 123. Bogotá.

INGEOMINAS, 1992. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 38-IV-A-8 San Luis (Tenerife - Magdalena). CT 122. Bogotá.

INGEOMINAS, 1992. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 32-III-C-1 Chivolo (Magdalena). CT 120. Bogotá.

INGEOMINAS, 1992. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 38-II-c-102 Tenerife (Magdalena). CT 121. Bogotá.

INGEOMINAS, 1990. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 54-I-A-45 San Zenón (Magdalena). I-2112. Bogotá.

INGEOMINAS, 1989. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 54-II-A-58 San Sebastián (Magdalena). I-2105. Bogotá.

INGEOMINAS, 1989. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 55-III-C-22 EL Banco (Magdalena). CT 110 b. Bogotá.

INGEOMINAS, 1989. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo 54-II-C-102 Guamal (Magdalena). I-2104. Bogotá.



INGEOMINAS, 1988. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del Pozo en el Corregimiento de Tacasaluma, Bolívar. I-2090.2. Bogotá.

INGEOMINAS, 1988. Hidrogeología de la Isla de Mompós, Departamento de Bolívar. Inf-2096. Bogotá.

INGEOMINAS, 1985. Informe sobre las pruebas de bombeo en el Pozo 23-IV-C-44 Santa Rosa -2. I-1970.4. Bogotá.

INGEOMINAS, 1965. Posibilidad de aprovechamiento de aguas subterráneas para San Onofre y María La Baja, Departamento de Bolívar. I-1485. Bogotá.

INSFOPAL, 1979. Informe técnico pozo Astrea-1, Cesar. Instituto Nacional de Fomento Municipal. División de Hidrogeología. Bogotá.

INSFOPAL, 1980. Informe técnico pozo Saloa-1, Cesar. Instituto Nacional de Fomento Municipal. División de Hidrogeología. Bogotá.

INSFOPAL, 1981. Estudio Hidrogeológico del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo. Tomos I, II y III. Bogotá, D.E

KLIMOCHKIN, V.V. El rol de la condensación en la formación de los recursos de aguas subterráneas. Yakutsk, 1974. (En ruso).

PEREZ, R., Estudio Geoeléctrico en Once Poblaciones del Departamento del Magdalena, desde Plato hasta Sitio Nuevo.

RANGEL, E.M. Estudio de Precipitación para la costa Norte de Colombia. HIMAT. Bogotá, 1984.

RESIXP - SCHULUMBERGER, Programas de interpretación geofísica.

RODRIGUEZ, M, G., 1993. Estudio hidrogeológico del Acuífero Morroa. Proyecto : Evaluación hidrogeológica del Acuífero Morroa. Santa Fé de Bogotá.

SUAREZ, S., 1972. Informe técnico sobre los pozos 7, 8, 9, 10 y 11 de San Jacinto, Bolivar. Sección Hidrogeología. Insfopal. Bogotá.

SURFER ver 6.03 – GOLDEN SOFTWARE, Sistema de mapeo de contornos.

TAHAL, LTD., 1972. Cesar No. 1 Project. Feasibility study. Stage one development area. Vol. Two. Basic Data. Tahal Consulting Engineers Ltd, Tel Aviv. Israel. Incora. Bogotá.

TROMBE, F. Las aguas subterráneas. Ediciones Orbis, S.A. Buenos Aires, 1988.

UNESCO., 1996. Mapa Hidrogeológico de América del Sur en escala 1:500.000. Programa Hidrogeológico Internacional. Texto explicativo. División de Ciencias del Agua. Servicio Geológico de Brasil.

VARGAS, A. y ANGEL, C. 1995. Investigación hidrogeoquímica del agua subterránea en el Departamento del Cesar. Proyecto : Evaluación del agua subterránea en el Departamento del Cesar. Convenio Corpoesar - Ingeominas. Bogotá.

VARGAS, Ma. y HUGUETT, A., 1985. Geohidroquímica en los departamentos de Atlántico y Bolívar. Proyecto : Prospección hidrogeológica en los departamentos de Atlántico y Bolívar. Convenio TNO de Holanda - Ingeominas. Bogotá.

VÁSQUEZ, A. LUIS E. Evaluación del agua subterránea en el departamento del Cesar, Prospección geoelectrica, informe 2222.4b, informe final, Octubre 1994, INGEOMINAS.

VASQUEZ, L., GARZON, M. Estudio hidrogeológico del valle alto del río Cesar, fase II, prospección geofísica, informe 2107, diciembre 1989, INGEOMINAS.

VÉLEZ, J.I., POVEDA, G., MESA O.J. Balances hidrológicos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2000.